

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ-  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko-geologická fakulta**

Institut environmentálního inženýrství

**NANOČÁSTICE V OVZDUŠÍ MORAVSKOSLEZSKÉHO KRAJE**

diplomová práce

**Autor:**

Bc. Barbora Sýkorová

**Vedoucí diplomové práce:**

prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

**Ostrava 2013**

**VŠB - TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA**

**Faculty of mining and geology**

Institute of environmental engineering

**NANOPARTICLES IN AIR OF MORAVIAN-SILESIA REGION**

diploma thesis

**Author:**

Bc. Barbora Sýkorová

**Supervisor:**

prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

**Ostrava 2013**

## **Prohlášení**

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB- TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB- TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB- TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

**V Ostravě dne 20. 4. 2013**

*Barbora Sýkorová*  
.....

**Barbora Sýkorová**

## Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala především paní prof. Raclavské, za odborné vedení při vypracování této diplomové práce a za cenné rady a připomínky. A samozřejmě bych chtěla poděkovat svým rodičům za podporu a trpělivost při mém studiu. Diplomová práce byla podpořena projektem CZ 1.05/2.1.00/03.0069 ENET - Energetické jednotky pro využití netradičních zdrojů energie.

## **SUMMARY**

This thesis is focused on nanoparticles in the air. Specifically, it is focused on the air MSR. In the introductory section describes the basic information about the TSP particles, their distribution, characteristics, and their effects on living organisms. The next section is devoted to the Moravian-Silesian Region - climatic and meteorological conditions in the area, register of emissions and air pollution sources and the integrated pollution register. The thesis also describes the individual emission factors for PM<sub>10</sub> and heavy metals, which are then used for the calculation of the likely quantity of emissions produced by ArcelorMittal Ostrava and Třinecké železářny. The phase chemical and mineralogical analysis was utilized for determination of composition of PM<sub>10</sub> from emission sources and air pollution (air MS region).

**KEYWORDS:** TSP, Moravian-Silesian Region, REZZO, IRZ, emission factor, phase chemical and mineralogical analysis

## **ANOTACE**

Tato diplomová práce je zaměřena na nanočástice v ovzduší. Konkrétně je orientována na ovzduší Moravskoslezského kraje. V úvodní části jsou popsány základní informace o částicích TSP, jejich rozdělení, vlastnosti, či jejich působení na živé organismy. V další kapitole je věnována pozornost Moravskoslezskému kraji - klimatickým a meteorologickým podmínkám panujícím v této oblasti, registru emisí a zdrojům znečišťování ovzduší a integrovanému registru znečištění. V práci jsou uvedeny i jednotlivé emisní faktory pro těžké kovy a PM<sub>10</sub>, které jsou následně použity pro výpočet pravděpodobného množství emisí produkovaných podniky ArcelorMittal Ostrava a.s. a Třineckými železářnami a.s. V závěru je pomocí fázové chemické a mineralogické analýzy sledováno složení PM<sub>10</sub> z emisních zdrojů a v imisích (ovzduší MS kraje).

**KLÍČOVÁ SLOVA:** TSP, Moravskoslezský kraj, REZZO, IRZ, emisní faktor, fázová chemická a mineralogická analýza

# Osnova

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Úvod a cíl práce .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b>  | <b>TSP v oblasti Moravskoslezského kraje .....</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1       | Obecná charakteristika TSP .....  | 3         |
| 2.1.1     | Částice PM <sub>2,5</sub> a částice PM <sub>10</sub> .....  | 6         |
| 2.1.2     | Vlastnosti TSP .....  | 7         |
| 2.1.3     | Účinek TSP .....  | 7         |
| <b>3</b>  | <b>Charakteristika oblasti .....</b>  | <b>10</b> |
| 3.1       | Klimatické a meteorologické podmínky MSK .....  | 12        |
| 3.2       | Emisní zdroje (REZZO).....  | 16        |
| 3.2.1     | Nejvýznamnější stacionární průmyslové a energetické zdroje znečišťování ovzduší – TZL (REZZO 1 a 2) ..... | 19        |
| 3.2.2     | Malé stacionární zdroje znečišťování ovzduší – TZL (REZZO 3).....   | 21        |
| 3.2.3     | Mobilní zdroje znečišťování ovzduší – TZL (REZZO 4).....  | 22        |
| 3.3       | Integrovaný registr znečištění .....  | 23        |
| <b>4.</b> | <b>Emisní faktory .....</b>   | <b>27</b> |
| 4.1       | PM <sub>10</sub> a kovy pro nejvýznamnější průmyslové technologie .....                                   | 29        |
| 4.2       | PM <sub>10</sub> a kovy pro lokální topeniště .....   | 37        |
| 4.3       | PM <sub>10</sub> a kovy pro dopravu.....  | 41        |
| <b>5.</b> | <b>Odhad produkce imisní zátěže v oblasti MSK .....</b>   | <b>45</b> |
| 5.1       | Třinecké Železářny a.s. ....  | 45        |
| 5.1.1     | Vyprodukované emise .....   | 46        |
| 5.2       | ArcelorMittal Ostrava a.s. ....   | 49        |
| 5.2.1     | Vyprodukované emise .....   | 49        |
| 5.3       | Srovnání vyprodukovaných emisí podniky Třinecké železářny a ArcelorMittal Ostrava .....                   | 51        |
| <b>6.</b> | <b>Fázová chemická a mineralogická analýza .....</b>  | <b>54</b> |
| 6.1       | Odběrové zařízení pro fázovou analýzu.....  | 55        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 6.1.1      | Vzorkovač nanometrických aerosolů (NAS) Model 3089 .....                                       | 56        |
| 6.1.2      | Elektrostatický odlučovač Model 5.561 – Vzorkovač nanočástic .....                             | 57        |
| 6.1.3      | Kálmán Systém Ltd. KS-404 - Přenosný automatický izokinetický emisní<br>vzorkovač prachu ..... | 58        |
| 6.1.4      | Kálmán Systém Ltd. KS 220 - Kaskádový impaktor .....   | 59        |
| 6.2        | Fázová chemická a mineralogická analýza PM <sub>10</sub> z emisních zdrojů .....               | 60        |
| 6.3        | Fázová chemická a mineralogická analýza PM <sub>10</sub> v imisích .....                       | 66        |
| <b>7.</b>  | <b>Vyhodnocení .....</b>   | <b>72</b> |
| <b>8.</b>  | <b>Závěr .....</b>   | <b>74</b> |
| <b>9.</b>  | <b>Seznam literatury .....</b>   | <b>75</b> |
| <b>10.</b> | <b>Seznam obrázků .....</b>  | <b>88</b> |
| <b>11.</b> | <b>Seznam tabulek .....</b>  | <b>90</b> |

## 1 Úvod a cíl práce

Diplomová práce se zabývá výskytem nanočástic (TSP – celkových suspendovaných částic) v ovzduší Moravskoslezského kraje. Konkrétněji pak částicemi s aerodynamickým průměrem menším než  $10\text{ }\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) a částicemi obsahujícími těžké kovy. Suspendované částice jsou v současnosti pokládány za nejvíce problematickou znečišťující látku v ovzduší. Suspendované částice jsou typickou imisní zátěží především větších městských aglomerací. Zdravotní rizika, spjata s výskytem suspendovaných částic, se odvíjí od jejich velikosti, morfologie či chemického složení (*Pope et. Al., 2006; Skeřil et. Al., 2008*).

Moravskoslezský kraj je možno charakterizovat jako kraj průmyslový s výrazným podílem těžby uhlí, energetikou a hutním průmyslem (výroba oceli, surového železa a koksu), což má za následek obrovskou produkci emisí prachových částic a těžkých kovů, které velice negativně ovlivňují kvalitu ovzduší. Během posledních let však došlo k velice významnému poklesu emisí produkovaných velkými zdroji znečišťujícími ovzduší. Tohoto snížení bylo dosaženo pomocí obrovských investic do moderních technologií a ekologických opatření. Například společnost ArcelorMittal Ostrava investovala od roku 2006 do ekologizace huti přes 3 miliardy korun. Největší investice představoval tkaninový filtr umístěný na aglomeraci Sever, který snížil množství produkovaných prachových částic o 270 tun/ročně. Třinecké železářny do ekologizace podniku (rekonstrukci chemických provozů koksovny či odsíření koksového plynu apod.) od roku 1996 investovaly okolo 5,5 miliardy korun (*moravskoslezsky.denik.cz*).

Velikost částic ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  a  $\text{PM}_1$ ) a jejich procentuální zastoupení je úzce spjata s meteorologickými a klimatickými faktory. Proto je v diplomové práci věnována celá kapitola podmínkám panujícím na území zkoumané lokality (MSK) s důrazem na převládající větry, srážkový úhrn, relativní vlhkost vzduchu či teplotu. Kdy se stoupající teplotou a s klesající relativní vlhkostí vzduchu klesá podíl jemné frakce (*Adamec, 2005; Keder, 2007; Skeřil et al., 2008*).

Pro odhad množství vyprodukovaných emisí  $\text{PM}_{10}$  a těžkých kovů lze využít stanovené emisní faktory z databáze NAEI. V diplomové práci jsou uvedeny jednotlivé emisní faktory, jak pro průmyslovou výrobu (výroba elektřiny, oceli a železa, koksu, či chemický průmysl), lokální topeniště, tak dopravu.



Cílem diplomové práce bylo zjištění množství emisí, které jsou schopny vyprodukovat provozy Třinecké železářny a.s. (pro výrobu koksu, aglomerátu a surového železa) a ArcelorMittal Ostrava a.s. (pro výrobu železa, oceli a koksu) za použití emisních faktorů (ze zprávy „National Atmospheric Emissions Inventory“) a pomocí fázové chemické a mineralogické analýzy zjistit složení  $PM_{10}$  z emisních zdrojů a imisí v ovzduší.

## 2 TSP v oblasti Moravskoslezského kraje

Tato kapitola se zabývá základní charakteristikou celkových suspendovaných částic. Popsány jsou vlastnosti částic, jejich rozdělení a účinek na lidské zdraví.

### 2.1 Obecná charakteristika TSP

Suspendované částice lze charakterizovat jako směs různorodých organických a anorganických částic kapalného či pevného skupenství, různého složení, velikosti i původu (*Integrovaný Krajský program ke zlepšení kvality ovzduší zlínského kraje; www.szu.cz; Smejkalová, 2011*).

Název suspendované částice je souhrnným názvem pro jemné tuhé či kapalné částice emitované do atmosféry rozličnými procesy probíhajícími na zemském povrchu. Částice jsou tvořeny prachem, kouřem, sazí, pyly a půdními částicemi (*glossary.eea.europa.eu*). Dále za celkové suspendované částice (TSP – total suspended particles) označujeme drobný poléťavý prach nebo aerosoly, jejichž velikost je menší než 100 mikrometrů (*Alias, et al., 2007; Yau, 2009*). Jako TSP je také označován celkový poléťavý prach zahrnující částice v průměru cca do 20  $\mu\text{m}$  (*Skeřil et al., 2008*).

Podle WHO (World Health Organisation - Světová zdravotnická organizace) (r. 2000) je celkové množství suspendovaných částic - TSP v ovzduší tvořeno okolo 80 % částicemi  $\text{PM}_{10}$  a podíl  $\text{PM}_{2,5}$  na celkovém množství  $\text{PM}_{10}$  je 45 – 65 %. Podle Bogo a kol. (r. 2003) je 60 % TSP tvořeno částicemi  $\text{PM}_{10}$  a frakce  $\text{PM}_{10}$  obsahuje 72 % částic  $\text{PM}_{2,5}$ . (*recetox.muni.cz, Air Quality Guidelines for Europe 2th edition, 2000*).

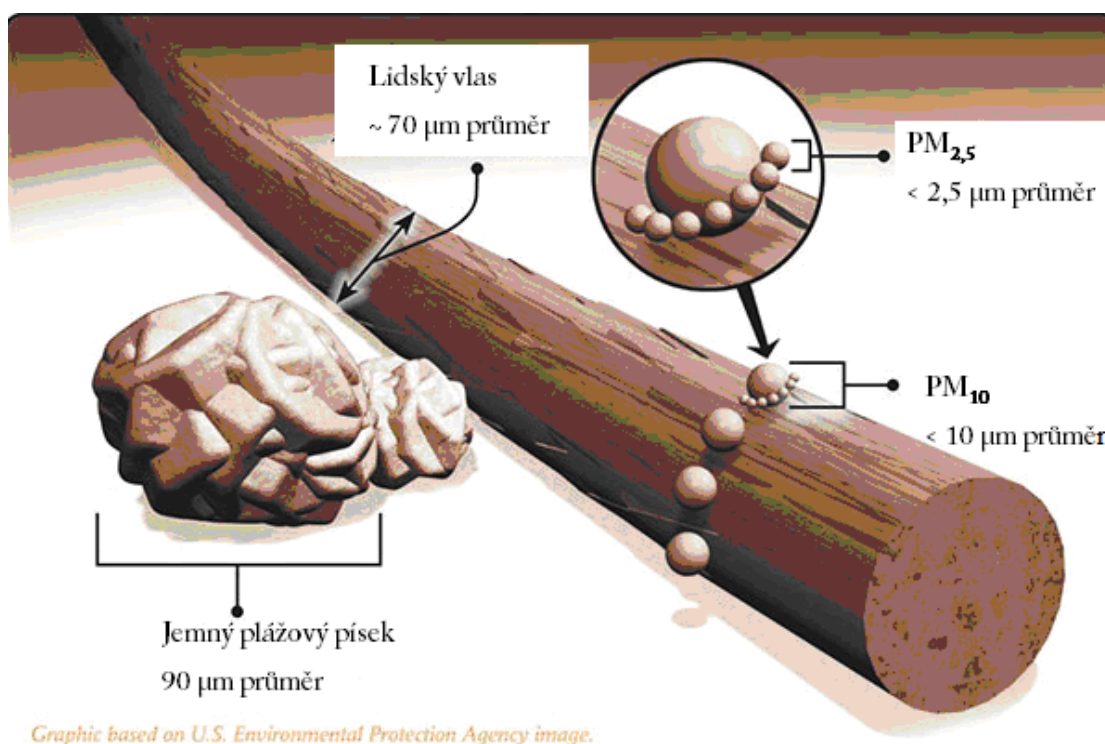
Pro označení suspendovaných částic je používána celá škála pojmů, které se překrývají. Některé názvy se vztahují ke způsobu vzorkování jiné zase k místu depozice v dýchacích cestách. Mezi nejčastěji používané pojmy patří tuhé znečišťující látky - TZL, pevný aerosol, prašný aerosol či poléťavý prach. V zahraniční literatuře se setkáme s pojmy jako jsou suspendované částice – suspended particulate matter (SPM), celkové suspendované částice – total suspended particles (TSP), černý kouř – black smoke atd. (*Integrovaný Krajský program ke zlepšení kvality ovzduší zlínského kraje, www.szu.cz; Smejkalová, 2011*).

Obecně lze suspendované částice dělit dle původu na *přírodní* a *antropogenní* (Lach, 2012; Nohavica, 2011; Querol et al. 2008; Mikkonen, 2011; recetox.muni.cz). Na vzniku částic se podílí celá řada běžných přírodních procesů. Mezi hlavní přírodní zdroje patří požáry vegetace, sopečná činnost, eroze půdy, fotochemické reakce, vlnobití či biogenní procesy (Adamec, 2005; Alias et al., 2007; Buzea et al., 2007; Lach, 2012; Kaličáková, 2012; Kumar et al., 2010; Nohavica, 2009; Pazourková, 2010; Yau, 2009; www.szu.cz). Jako nejvýznamnější antropogenní zdroje mohou být uvedeny doprava, obecně průmysl (produkující kovy, vlákna, atd.), teplárny, elektrárny, spalovny, hornická a stavební činnost, spalování fosilních paliv a lokální topeniště (které produkují popel a saze), zemědělství a mnohé jiné (Alias et al., 2007; Integrovaný Krajský program ke zlepšení kvality ovzduší zlínského kraje; Yau, 2009; Hon et al., 2006; Lach, 2012; Kaličáková, 2012). Další možností, jak rozdělovat částice je podle zdroje, ve kterém vznikají. Obecně zdroje dělíme do tří kategorií: na zdroje stacionární (lokální topeniště, spalovny, zemědělská činnost, těžba a dobývání, či chemická výroba), mobilní zdroje (automobilová, vlaková, lodní a letecká doprava) a zdroje znečištění vnitřního ovzduší (kouření, vaření, uvolňování z vnitřních materiálů apod.) (Adamec, 2005; Pöschl, 2005).

Dále lze částice dělit na *primární* (tj. minerální částice, těžké kovy, elementární uhlík), pokud jsou vypouštěny jako PM do atmosféry, nebo *sekundární* (např. sírany, dusičnany a organické látky), které vznikají v atmosféře z plynných prekurzorů (během chemických reakcí v atmosféře mezi kyslíkem, vodními párami a reaktivními složkami), nebo během fyzikálních procesů jako jsou nukleace, či kondenzace (Adamec, 2005; Alias et al., 2007; Criteria Air Pollutant Particulate Matter, 1997; www.szu.cz; Pöschl, 2005; Valli et al., 2007). Většina částic přírodního původu nacházejících se v atmosféře patří mezi primární (97 %), zatímco přírodní sekundární, antropogenní primární a sekundární antropogenní příspěvky částic se pohybují každý kolem 1 %. Z celosvětového množství sekundárních částic má antropogenní původ okolo 56 % částic (Querol et al. 2008; Gieré a Querol, 2010). Tyto relativní příspěvky se drasticky změni, pokud je vzato v úvahu zdrojové rozdělení částic v městských oblastech nebo průmyslových závodech, kde antropogenní zátěž částicemi převažuje nad přirozenou a sekundární původ nad primárním (Amato et al 2009; Querol et al. 2008).

Suspendované částice obvykle rozdělujeme do dvou hlavních skupin, a to podle aerodynamického průměru na částice hrubé s aerodynamickým průměrem větším než

2,5  $\mu\text{m}$  a částice jemné s aerodynamickým průměrem menším než 2,5  $\mu\text{m}$  (*Integrovaný Krajský program ke zlepšení kvality ovzduší zlínského kraje, Smejkalová, 2011; Air Quality Guidelines, 2000*). Avšak některé studie rozčleňují suspendované částice do tří skupin a to na ultra jemné částice s velikostí pod 0,1  $\mu\text{m}$ , jemné s velikostí pod 3  $\mu\text{m}$  a hrubé částice o velikosti nad 3  $\mu\text{m}$  (*Stull, 1990*). Suspendované částice mohou být také rozděleny do tří základních skupin podle odlišné velikostní škály. Tato škála zahrnuje klasické rozdělení částic na  $\text{PM}_{10}$  (částice s aerodynamickým průměrem menším než 10  $\mu\text{m}$ ),  $\text{PM}_{2,5}$  (částice s aerodynamickým průměrem menším než 2,5  $\mu\text{m}$ ) a  $\text{PM}_1$  (s aerodynamickým průměrem pod 1  $\mu\text{m}$ ) (*Alias et al., 2007; Skrčil et al., 2008; Zhao et al., 2010*). Další možnou klasifikací je rozdělení TSP do dvou hlavních skupin, a to na suspendované částice se jmenovitým aerodynamickým průměrem 10  $\mu\text{m}$  nebo méně, které bývají nazývány jako dýchatelné suspendované částice (RSP- Respirable Suspended particles), nebo suspendované částice, které mají aerodynamický průměr větší než 10 mikrometrů zapříčínující znečištění a prašnost (*Yau, 2009*).



Obrázek 1 Vizuální srovnání velikost  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{PM}_{2,5}$  s lidských vlasem a zrnkem písku, zdroj:

www.sbcapcd.org, 2009

Z dlouhodobé analýzy vyplývá, že zastoupení jednotlivých frakcí velice úzce souvisí s teplotou a relativní vlhkostí vzduchu. S klesající teplotou stoupá podíl jemné frakce. Při

velice nízkých teplotách je prakticky celá frakce  $PM_{2,5}$  tvořena  $PM_1$ . Podobná závislost se ukázala i u relativní vlhkosti vzduchu. S rostoucí relativní vlhkostí vzduchu se zvyšuje zastoupení jemné frakce v  $PM_{10}$  a podíl  $PM_1$  na  $PM_{2,5}$  rovněž s rostoucí vlhkostí stoupá (Adamec, 2005; Keder, 2007; Skeřil et al., 2008).

Obecně lze říci, že jsou v současné době suspendované částice považovány za nejproblematictější znečišťující látku v ovzduší. Suspendované částice jsou typickou imisní zátěží zvláště větších městských aglomerací, kde jsou emitovány jak zdroji stacionárními, tak především mobilními. Koncentrace  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  jsou regulovány imisními limity. V současné době se však do středu zájmů dostávají částice jemnější jako např.  $PM_1$  (Skeřil et al., 2008).

### 2.1.1 Částice $PM_{2,5}$ a částice $PM_{10}$

Z důvodů rozdílného původu, složení i chování se částice  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  od sebe významně liší.

Vzhledem k obrovskému počtu zdrojů, mohou částice obsahovat stovky různých chemických prvků. Na částice s aerodynamickým průměrem menším než  $10\text{ }\mu\text{m}$  mohou být vázány sírany, amonné ionty, dusičnany, elementární uhlík a kondenzované organické sloučeniny. Velice často jsou na tyto částice také vázány karcinogenní sloučeniny a těžké kovy, jako je arsen, selen, kadmium a zinek. Větší částice, mezi které řadíme půdní částice, popílek, silniční kamenivo a popel obsahují hlavně: křemík, hliník, draslík, železo, vápník a alkalické prvky (Alias et al., 2007; Levy et al., 2000; Nam a Kim Chun, 2003; Pöschl, 2005; dnr.wi.gov).

Jemné částice jsou do značné míry rozpustné a jejich pH se obvykle pohybuje v kyselé oblasti. Menší částice  $PM_{2,5}$  zahrnují částice ze spalování fosilních paliv včetně dopravy, sekundárně vytvořené aerosoly (vzniklé kondenzací plyných složek) a znovu zkondenzované kovové či organické páry (Konzultační den hygieny ovzduší: Problematika aerosolů, 2005; www.szu.cz; Smejkalová, 2011). Většina částic vzniká až sekundárními reakcemi plyných škodlivin ve znečištěném ovzduší. Částice jsou tvořeny uhlíkatými látkami (např. mohou obsahovat organické látky s mutagenními účinky), solemi (sulfáty a nitráty) a těžkými kovy. Negativní vlastností těchto částic je jejich schopnost dlouhodobé perzistence v atmosféře (okolo dnů až týdnů) a vytváření více či méně stabilních aerosolů,

které podléhají dálkovému transportu. (*Konzultační den hygieny ovzduší: Problematika aerosolů, 2005; www.szu.cz*).

Na rozdíl od jemných částic bývají částice PM<sub>10</sub> zásaditého charakteru a jsou z větší části nerozpustné. Tato frakce vzniká nekontrolovaným spalováním, během demolice, dopravou po neupravených silnicích, sekundárním zviřením prachu či mechanickým rozpadem (zvětráváním) hornin a půd a mnoha dalšími způsoby. Hrubší částice mají samozřejmě větší hmotnost, což eliminuje jejich dálkový transport. Mohou být ve vzduchové mase unášeny pouze do několika kilometrové vzdálenosti. Zcela běžná je sedimentace již během několika minut či hodin (*Konzultační den hygieny ovzduší: Problematika aerosolů, 2005; www.szu.cz; Smejkalová, 2011*).

### 2.1.2 Vlastnosti TSP

Vlastnosti malých částic se velice významně liší od vlastností ostatních částic o větších rozměrech. Podstatnou vlastností malých částic je zvýšený poměr plochy povrchu k objemu částic. Z čehož vyplývá, že počet atomů tvořící povrch je vyšší než počet atomů uvnitř. Fyzikálně chemické vlastnosti pevných materiálů se tedy na povrchu a uvnitř liší. Charakteristické je převládání počátečních fyzikálně chemických vlastností nad samotnými vlastnostmi daného materiálu. Částice mikrometrických rozměrů se chovají jako by byly tvořeny pouze povrchem. Zásadním jevem těchto vlastností je zvýšená chemická reaktivita, což má za následek i změnu toxicity (*Hlaváček, 2011; Klouda, 2010*).

### 2.1.3 Účinek TSP

Účinek částic závisí na jejich tvaru (morfologii), velikosti a chemickém složení či chemických vlastnostech (toxicita, kyselost, oxidační stres, rozpustnost). Účinky suspendovaných částic jsou významně ovlivňovány také absorpcí dalších znečišťujících látek na jejich povrchu (*Klouda, 2010; Nohavica, 2011; Pope III. a Dockery, 2006; Pöschl, 2005; Siegmann et al., 1999; Skeřil et al., 2008; Smejkalová, 2011; www.szu.cz; Odhad zdravotních rizik ze znečištění ovzduší Česká republika, 2011; Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě, 1987*).

Částice mohou do lidského organismu pronikat třemi způsoby: *inhalačně (respiračně)*, *perorálně* a *transdermálně*. Plíce jsou při inhalaci nejvíce postiženým orgánem z hlediska

množství materiálu. Největší riziko představují částice ve formě aerosolu (suspendované ve vzduchu) (Klouda, 2010; Nohavica, 2011, Siegmann et al., 1999).

Nejdůležitějším parametrem rozhodujícím o škodlivosti částic je jejich velikost (Klouda, 2010; Nohavica, 2011, Siegmann et al., 1999). Vystavení organismu částicím s aerodynamickým průměrem menším nebo rovným 10  $\mu\text{m}$  může způsobovat závažné zdravotní problémy, jelikož tyto částice jsou schopny pronikat hluboko do plic. V rámci obranných mechanismů lidského organismu platí, že plíce jsou schopny odstranit až 99 % částic větších než 10  $\mu\text{m}$ . Částice o velikosti nad 2,5  $\mu\text{m}$ , nazýváme respirabilní (dýchateľné), ty bývají zachyceny v horních cestách dýchacích. Největší problém tedy představují částice menší než 2,5  $\mu\text{m}$ , které pronikají až do plicních kapilár a alveol, čímž způsobují zpomalení výměny kyslíku a oxidu uhličitého v krvi. (Alias et al., 2007; Querol et al. 2008; Klouda, 2010; Neal, 2004; Skeřil et al., 2008). Kromě toho se objevuje stále více důkazů, že některé částice mohou mít fibrogenní účinky (např. azbest) (Faux et al., 2003; Querol et al. 2008).

Jak bylo zmíněno na začátku kapitoly – částice jsou schopny sorbovat na svůj povrch celou škálu škodlivých látek. Mezi typické sorbované škodliviny patří těžké kovy, které mají celou řadu negativních účinků na živý organismus. U některých těžkých kovů a jejich sloučenin byly prokázány karcinogenní, mutagenní a teratogenní účinky. Těžké kovy mohou také vyvolávat poruchy krvetvorby, poškozování nervového systému nebo závažné poruchy některých vnitřních orgánů (Fischer et al., 1979; Ritz et al., 2003). Mezi silně toxické těžké kovy lze zařadit As, Cd, Hg, Pb a Cr (Linak a Wendt, 1993). Jako příklad méně toxických kovů lze uvést kovy Ni, Co, Cu, Mn, Sb, Ba, Ag, U a V. Významnou vlastností těžkých kovů je jejich schopnost bioakumulace. Za nejvíce nebezpečné jsou považovány organokovové sloučeniny a jejich prekurzory (např. organortuťnaté a organoolovnaté sloučeniny, chlorid rtuťnatý a olovnatý), jelikož jsou schopny velice snadno reagovat s organickými látkami (Ritz et al., 2003; Tichý, 1998).

Pro široké negativní působení PM a na ně sorbovaných těžkých kovů na lidské zdraví jsou v zákoně č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší stanoveny jejich imisní limity viz **Tabulka 1 a 2.**

**Tabulka 1** Platné imisní limity pro  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$ , zdroj: Zákon č. 201/2012 Sb.

| Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení |                  |                                       |                            |
|---|------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Znečišťující látka  | Doba průměrování | Imisní limit                          | Maximální počet překročení |
| Částice $PM_{10}$   | 24 hodin         | $50 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  | 35                         |
| Částice $PM_{10}$   | 1 kalendářní rok | $25 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  | 0                          |
| Částice $PM_{2,5}$  | 1 kalendářní rok | $0,5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ |                            |

**Tabulka 2** Platné imisní limity pro znečišťující látky v  $PM_{10}$ , zdroj: Zákon č. 201/2012 Sb.

| Imisní limity pro celkový obsah ZL v částicích $PM_{10}$ vyhlášené pro ochranu zdraví lidí |                  |                                     |
|--|------------------|-------------------------------------|
| Znečišťující látka   | Doba průměrování | Imisní limit                        |
| Arsen  | 1 kalendářní rok | $6 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$  |
| Kadmium  | 1 kalendářní rok | $5 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$  |
| Nikl   | 1 kalendářní rok | $20 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ |

Částice nanometrických rozměrů neovlivňují pouze živé organismy, ale mohou působit na celou škálu procesů probíhajících na planetě Zemi. Mezi procesy ovlivněné nanočásticemi patří energetická bilance Země, hydrologický cyklus, atmosférická cirkulace, míra skleníkového efektu a mnoho dalších (Pöschl, 2005). Částice jsou schopny absorbovat sluneční energii či se podílet na tvorbě oblaků (Finlayson-Pitts a Pitts, 2000; Houghton et al., 2001; Lohmann a Feichter, 2005; Seinfeld a Pandis, 1998; Pöschl, 2005).



### 3 Charakteristika oblasti

Moravskoslezský kraj zaujímá rozlohu 5 554 km<sup>2</sup>, což představuje 7,04 % území České republiky. Svou rozlohou se řadí na šestou příčku v ČR. Kraj má nejvyšší počet obyvatel v republice (cca 1,25 miliónů), avšak osídlení má centralizovaný charakter do nejmenšího počtu sídel v rámci krajů (299 obcí). Moravskoslezský kraj je regionem šesti oblastí: Bruntál, Opava, Ostrava, Karviná, Nový Jičín a Frýdek-Místek. Kraj se nachází na severovýchodě České republiky, hraničí na severu a východě s Polskem a na jihovýchodě se Slovenskou republikou. Příhraniční charakter kraje poskytuje obrovské možnosti spolupráce ve výrobní oblasti, rozvoji infrastruktury, ochraně životního prostředí a turistickém ruchu (*Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006*). „Jižním sousedem regionu je kraj Zlínský a jihozápadním kraj Olomoucký.“ Na území kraje se nachází 302 obcí a z toho 16 měst s více než 10 000 a 32 měst s více než 5 000 obyvateli (*Program snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje. 2003, Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006; Program rozvoje Moravskoslezského kraje, 2005; Program rozvoje Moravskoslezského kraje, 2006; Informace o stavu životního prostředí v Moravskoslezském kraji v roce 2003, Vítejte v Moravskoslezském kraji, 2006; Plán odpadového hospodářství Moravskoslezského kraje 2003-2012, 2003; Stav životního prostředí v Moravskoslezském kraji, 2008; Stav životního prostředí v jednotlivých krajích ČR v roce 2009, 2011; Šebáková, 2004; www.celysvet.cz*).

Geografická rozmanitost kraje je velice značná. Pro kraj je charakteristické zastoupení rozdílných krajinných typů. Ze západu je kraj sevřen masívem Hrubého Jeseníku, který pozvolna přechází do náhorní plošiny s pozvolnějším terénem - Nízký Jeseník a Oderské vrchy. Střední část kraje je typická velmi hustě osídleným nížinným terénem Moravské brány, Ostravské pánve a Opavské nížiny s velmi silně vyvinutými urbanizovanými a industrializovanými částmi městských a průmyslových aglomerací v Ostravsko-Karvinské části. Směrem na jihovýchod opět krajina získává horský charakter a tyčí se zde hřbety Moravskoslezských a Slezských Beskyd (*Program snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje. 2003; Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006; Program rozvoje Moravskoslezského kraje, 2005; Program rozvoje Moravskoslezského kraje, 2006; Plán odpadového*

*hospodářství Moravskoslezského kraje 2003-2012, 2003; Stav životního prostředí v jednotlivých krajích ČR v roce 2009, 2011; Šebáková, 2004).*

Více než polovinu území zaujímá zemědělská půda, zhruba 35 % území tvoří lesní pozemky a to především v horských oblastech Jeseníků a Beskyd. Vedle přírodního bohatství kraj skýtá i bohaté zásoby nerostných surovin– zásoby černého uhlí, ložiska zemního plynu, vápence, žuly, mramoru, břidlice, sádrovce a mnoho dalších (*Program snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje. 2003; Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006).*

Na základě dominujících hospodářských odvětví je možno kraj charakterizovat jako průmyslový. Výrazný podíl zaujímá těžba uhlí, energetika a hutní průmysl, nezanedbatelný význam má i průmysl chemický, farmaceutický a potravinářský. Dá se říci, že je kraj celostátním centrem hutní výroby a představuje 100 % výroby surového železa, oceli a koksu ČR (*Program snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje. 2003; Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006; Vítejte v Moravskoslezském kraji, 2006; Stav životního prostředí v Moravskoslezském kraji, 2008).*

Hlavní silniční dopravní osy tvoří mezinárodní silnice E 462 (I/48) Nový Jičín – Frýdek Místek - Český Těšín – hranice s Polskem, I/11 Bruntál - Opava - Ostrava - Český Těšín - hranice se Slovenskem, I/57 Opava - Krnov – hranice s Polskem, silnice R56 Ostrava - Frýdlant nad Ostravicí - přímé spojení do Beskyd a dálnice D47. Krajem procházejí dva mezinárodní železniční tahy (E40, E65). Napojení na leteckou dopravu je zajištěno mezinárodním letištěm Mošnov v Ostravě (*Program snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje. 2003; Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006).*

Moravskoslezský kraj patří z hlediska kvality životního prostředí mezi nejzatíženější regiony České republiky. V minulosti byly v kraji poškozeny všechny složky životního prostředí a v současné době patří mezi nejzávažnější problémy staré ekologické zátěže v lokalitách bývalých i dosud provozovaných průmyslových podniků, kontaminace půdy, následky těžby uhlí a jejího útlumu (devastace území, výstup důlních plynů) (*Informace o stavu životního prostředí v Moravskoslezském kraji v roce 2003).*

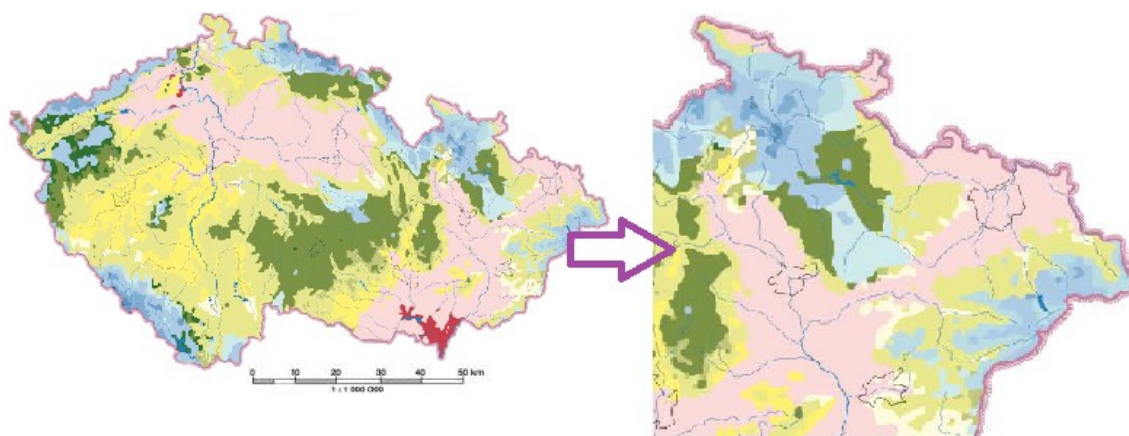
### 3.1 Klimatické a meteorologické podmínky MSK

Studium meteorologických podmínek zkoumané oblasti je velice důležité jelikož jsou schopny velice významně ovlivňovat stav znečištění ovzduší. Proces zjišťování meteorologických podmínek je tedy velice důležitý pro modelování rozptylu znečišťujících látek v ovzduší, prognózování jejich koncentrací a hodnocení přeshraničního přenosu (*Analýza závislosti meteorologických veličin a kvality ovzduší, 2012; Pavlíková, Jančík, Bitta, Hladký, 2010*).

Nejpodstatnější meteorologické podmínky podílející se na ovlivnění rozptylu znečišťujících látek v ovzduší jsou směr a rychlost proudění vzduchu, dále teplota vzduchu či relativní vlhkost vzduchu. Velice důležité je i vertikální teplotní zvrstvení určující vertikální stabilitu atmosféry. Nezanedbatelný vliv na znečištění vzduchu mají taktéž srážky, které vymýváním imisí z atmosféry mohou znečištění snižovat (*Al-Dahabi et al., 2010; Alias et al., 2007; Analýza závislosti meteorologických veličin a kvality ovzduší, 2012; Pavlíková et al., 2010; Valli et al., 2007*).

Vlivy meteorologických parametrů na částice a atmosférické polutanty byly studovány v mnoha zemích. Například Karar a kol. (r. 2006) zjistili, že TSP vykazují výrazné sezónní výkyvy (zvýšení koncentrací v zimních měsících). Sharma a kol. (r. 2005) upozorovali určitý vztah mezi množstvím částic a inverzní situací, rychlostí větru a vlhkostí vzduchu (*Al-Dahabi et al., 2010*). Na území České republiky byla sledována významná závislost PM a teploty. „Se změnou teploty se mění distribuce velikostních frakcí suspendovaných částic. V létě tvořila frakce PM<sub>1</sub> 28% celkové PM<sub>10</sub>, kdežto v říjnové to bylo již 63%. V létě tvořila PM<sub>2.5</sub> zhruba 35% a na podzim 67%.“ (*Raclavský a Obal, 2012*).

## Klimatické oblasti Moravskoslezského kraje podle Quittovy klasifikace



Obrázek 2 Klimatické oblasti podle Quittovy klasifikace, zdroj: Tolasz et al., 2007

Tabulka 3 Vybrané charakteristiky klimatických oblastí MSK dle Quitta, zdroj: Tolasz et al., 2007

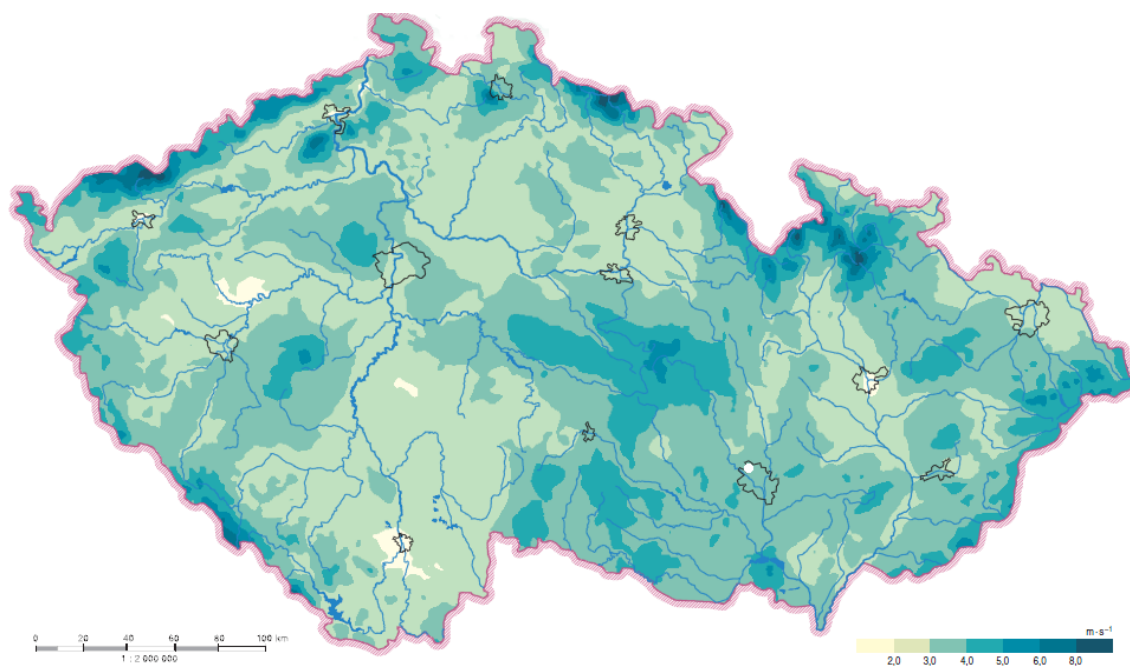
|                                   | MW10      | MW7       | MW4       | MW2       | C7        | C6        | W2        |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Počet letních dnů                 | 40 – 50   | 30 – 40   | 20-30     | 20-30     | 10-30     | 10-30     | 50-60     |
| Počet mrazivých dnů               | 110 – 130 | 110 – 130 | 110-130   | 110-130   | 140-160   | 140-160   | 100-110   |
| Průměrná teplota v lednu [°C]     | -2 až -3  | -2 až -3  | -2 až -3  | -3 až -4  | -3 až -4  | -4 až -5  | -2 až -3  |
| Průměrná teplota v červenci [°C]  | 17 – 18   | 16 – 17   | 16 – 17   | 16 – 17   | 15 – 16   | 14 – 15   | 16 – 18   |
| Srážkový úhrn – veget období [mm] | 400 – 450 | 400 – 450 | 350 – 450 | 450 – 500 | 500 – 600 | 500 – 700 | 350 – 400 |
| Srážkový úhrn – zimní období [mm] | 200 – 250 | 250 – 300 | 250 – 300 | 250 – 300 | 350 – 400 | 400 – 600 | 200 – 300 |
| Počet dnů se sněhovou pokrývkou   | 50-60     | 60-80     | 60-80     | 80 – 100  | 100-120   | 120-140   | 40 – 50   |

Převážná část území Ostravské pánve a okolí Opavy patří do klimatické oblasti teplé (W2) (do cca 500-600 m. n. m.). Vyšší území Beskyd a Jeseníků náleží do oblastí mírně teplých a částečně i chladných (MW7, MW4 a MW2 a C6 a C7) (*Koncepce rozvoje cyklistické dopravy na území Moravskoslezského kraje, 2005; Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006; Tolasz et al., 2007*).

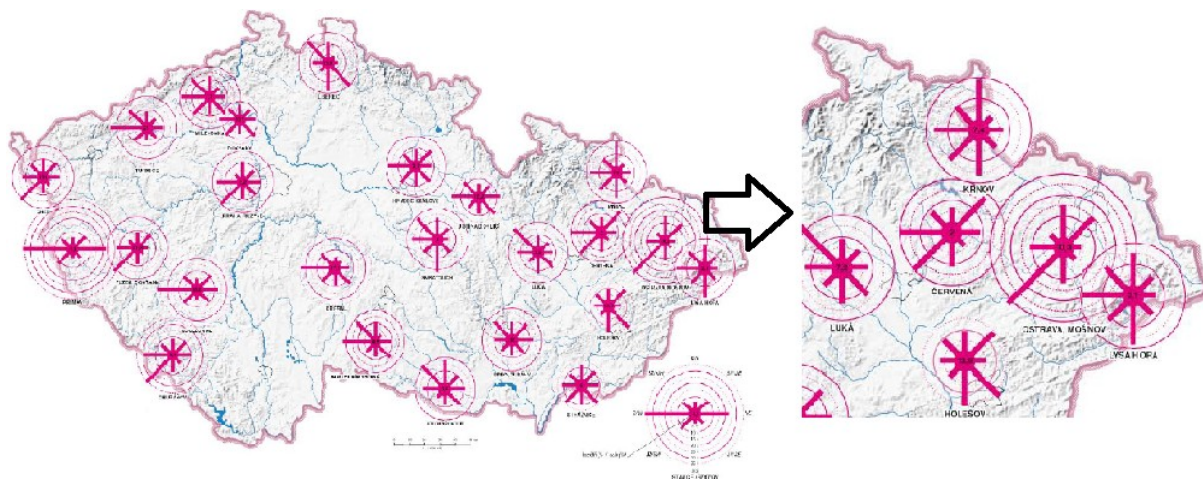
Typickými klimatickými znaky v oblasti MSK jsou poměrně vysoké srážky, které jsou podmíněny blízkostí návětrných svahů Beskyd. Ostravský bioregion je nejvlhčí nížinnou oblastí celé České republiky. Srážky se ve většině případů dostavují při přechodu front a to většinou při západním proudění s vlhkým atlantským vzduchem. Čas od času prochází územím i cyklóna vyvolávající značné srážky. Typickým jevem v zimním období v oblasti Ostravské pánve jsou teplotní inverze (*Gajdušek, Návrh územního plánu velkého územního*

*celku Ostrava - Karviná; Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006).*

Meteorologické podmínky, které mohou být v Moravskoslezském kraji velice různorodé, se ve většině případů odvíjí od typu atmosférického proudění. Pokud v zimním období převládá severovýchodní proudění, pak je počasí stálé a mrazivé, v letních měsících lze při tomto proudění očekávat suché a horké dny. Jižní proudění přináší v každém ročním období výrazné oteplení. Nejméně stálé meteorologické podmínky lze očekávat při výskytu atlantického (*západní až severozápadní*) proudění, které běžně přináší srážky způsobené přechodem frontálních systémů. Toto proudění se na území MSK vyskytuje nejčastěji společně s větry *jihozápadními a severními* s průměrnou rychlostí větru okolo  $3,2 \text{ m.s}^{-1}$  viz **Obrázek 3 a 4** (Gajdiček; *Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006; o-kraji.kr-moravskoslezsky.cz*). V otevřených nížinách, úvalech a v mírně zvlněných pahorkatinách (do 300 m. n. m.) je převládající západní směr větru. V podhůří a horských oblastech je proudění vzduchu ovlivněno orografickými poměry avšak ve vrcholových částech pohoří převládá opět západní směr větru. V Moravské bráně dochází k převládání jihozápadního proudění. K odchýlení od jihozápadního proudění dochází v údolích Jeseníků a Beskyd, kde se značně uplatňují místní údolní systémy vzdušného proudění (*Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006*).



**Obrázek 3** Průměrná roční rychlost větru, zdroj: Tolasz et al., 2007



**Obrázek 4** Větrné růžice znázorňující převládající větry, zdroj: Tolasz et al., 2007

Proudění vzduchu hraje podstatnou roli při vzniku smogových situací (hlavně v severovýchodní části MSK). Studie Hodnocení smogové situace v Ostravě, kterou zpracoval Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě, ukázala, že pohyb znečištěného ovzduší nad zájmovou oblastí hraje zásadní roli v naměřených koncentracích imisí. Při vyšších rychlostech proudění a dobrých rozptylových podmínkách nedochází ke kumulaci škodlivin. Pokud se však rychlost proudění vzduchu sníží pod  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , dochází k výraznému omezení rozptylu škodlivin v ovzduší. Kontaminovaný vzduch se nad terénem pohybuje velmi pomalu a zejména při inverzním zvrstvení atmosféry dochází k neustálému zvyšování koncentrací škodlivin. Dokonce v extrémních případech může dojít k zastavení vzduchové masy, což při neustávající produkci emisí vede k dosažení velmi vysokých imisních koncentrací. Pokud dojde ke vzniku situace s převládajícími větry s nízkými rychlostmi a proměnlivým směrem větru může nastat situace, kdy se kontaminovaný vzduch pohybuje nad dotčeným terénem i několikrát. Je všeobecně známo, že proudění vzduchu je často usměrňováno terénem Moravské brány a velkých řek. Jak již bylo zmíněno, nad MSK převládají větry jihozápadní a obrácené severovýchodní. Důležitým faktem je rovněž to, že doba bezvětrí se pohybuje v posledních letech na úrovni až okolo 25 % roku (obvykle 4 – 15 %). K nadnormálnímu výskytu bezvětrí dochází převážně na území Ostravska. Tato situace následně nahrává vleklým smogovým situacím, které v kombinaci s koncentrací průmyslu na obou stranách hranice s Polskem způsobují imisní koncentrace  $\text{PM}_{10}$  na úrovni stovek mikrogramů (*Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006; [www.dychamproostravu.cz](http://www.dychamproostravu.cz)*).

V oblasti platí obecné pravidlo, že směrem k jihozápadu mírně vzrůstá množství ročních srážek a mírně klesá průměrná roční teplota (*Gajdušek, Návrh územního plánu velkého územního celku Ostrava - Karviná*). Území Beskyd a Hrubého Jeseníku patří k vlhkým oblastem. Srážky přinášejí převládající západní větry. Naopak území Nízkého Jeseníku se nachází ve srážkovém stínu Hrubého Jeseníku. Toto rozsáhlé území je poměrně chladné (*Koncepce rozvoje cyklistické dopravy na území Moravskoslezského kraje, 2005*).

**Tabulka 4 Teplota na území Moravskoslezského kraje za rok 2012**, zdroj: portal.chmi.cz

|          | Měsíc |      |     |     |      |      |      |      |      |     |     |      | Rok |
|----------|-------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|
|          | 1.    | 2.   | 3.  | 4.  | 5.   | 6.   | 7.   | 8.   | 9.   | 10. | 11. | 12.  |     |
| <b>T</b> | -1,5  | -6,4 | 4,1 | 8,6 | 14,2 | 17,0 | 19,0 | 18,3 | 13,7 | 8,0 | 5,9 | -1,9 | 8,3 |
| <b>N</b> | -3,2  | -1,7 | 1,9 | 6,7 | 11,9 | 15,0 | 16,3 | 15,9 | 12,5 | 8,0 | 2,7 | -1,4 | 7,0 |
| <b>O</b> | 1,7   | -4,7 | 2,2 | 1,9 | 2,3  | 2,0  | 2,7  | 2,4  | 1,2  | 0,0 | 3,2 | -0,5 | 1,3 |

**Vysvětlivky:**

T = teplota vzduchu [°C]

N = Dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961-90 [°C]

O = Odchylka od normálu [°C]

**Tabulka 5 Srážky na území Moravskoslezského kraje za rok 2012**, zdroj: portal.chmi.cz

|          | Měsíc |     |    |    |    |     |     |    |     |     |     |     | Rok |
|----------|-------|-----|----|----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|          | 1.    | 2.  | 3. | 4. | 5. | 6.  | 7.  | 8. | 9.  | 10. | 11. | 12. |     |
| <b>S</b> | 93    | 50  | 28 | 40 | 48 | 111 | 80  | 67 | 72  | 101 | 39  | 30  | 759 |
| <b>N</b> | 42    | 44  | 43 | 59 | 94 | 108 | 105 | 98 | 63  | 50  | 58  | 52  | 816 |
| <b>%</b> | 221   | 115 | 66 | 69 | 51 | 103 | 76  | 68 | 115 | 203 | 68  | 58  | 93  |

**Vysvětlivky:**

S = úhrn srážek [mm]

N = dlouhodobý srážkový normál 1961-1990 [mm]

% = odchylka od normálu [%]

### 3.2 Emisní zdroje (REZZO)

Zdroje emitující znečišťující látky do ovzduší jsou celostátně sledovány v rámci tzv. Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (**REZZO**) pod správou ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav). K dispozici jsou údaje o jednotlivých kategoriích zdrojů znečišťování - zvláště velké a velké stacionární zdroje REZZO 1, střední stacionární zdroje REZZO 2, malé stacionární zdroje REZZO 3 a mobilní (liniové) zdroje REZZO 4 (*Gajdušek, Návrh územního plánu velkého územního celku Ostrava – Karviná; Situační*

*zpráva k Programu snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje 2010; gis.osu.cz).*

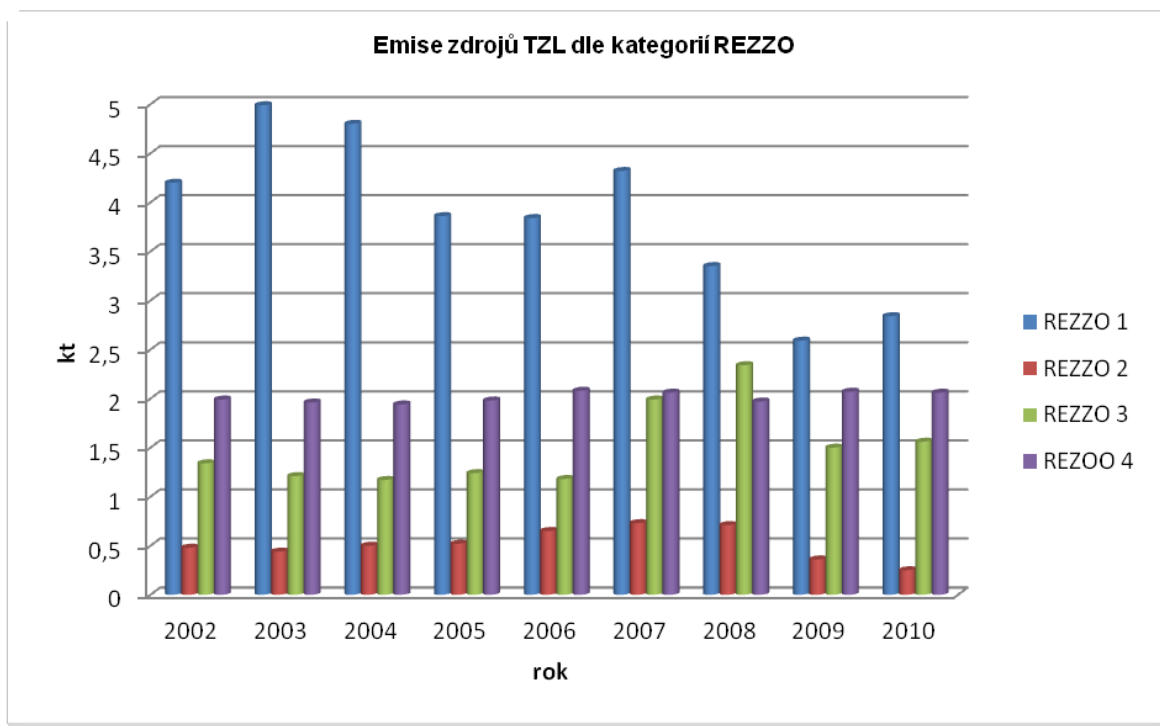
Porovnáním podílů jednotlivých kategorií zdrojů znečišťování ovzduší na celkových emisích MSK s celorepublikovými průměry lze dojít k následujícím závěrům:

- Podíl velkých zdrojů znečišťování ovzduší (**REZZO 1**) na celkových emisích kraje výrazně převyšuje republikový průměr a to hlavně v případě tuhých látek, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO a amoniaku. V produkci TZL (tuhé znečišťující látky - částice od 0,1 µm po 0,5 mm charakteristické různorodým složením) tvoří zdroje REZZO 1 v MSK téměř 1/3 veškerých vyprodukovaných emisí (*Situační zpráva k Programu snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje 2010; www.biomasa-info.cz, www.kr-moravskoslezsky.cz*).
- Podíl středních zdrojů znečišťování ovzduší (**REZZO 2**) na celkových emisích kraje je u všech uvedených znečišťujících látek velice nízký a zhruba na úrovni republikového průměru (*www.kr-moravskoslezsky.cz*).
- Podíl malých zdrojů znečišťování ovzduší (**REZZO 3**) na celkových emisích kraje je u většiny znečišťujících látek výrazně nižší než celorepublikový průměr (*www.kr-moravskoslezsky.cz*).
- Podíl mobilních zdrojů znečišťování ovzduší (**REZZO 4**) na celkových emisích kraje je u všech znečišťujících látek výrazně nižší než republikový průměr (*www.kr-moravskoslezsky.cz*).

**Tabulka 6 Vývoj emisí tuhých znečišťujících látek na území MSK**, zdroj: Situační zpráva k Programu snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje 2010; Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010

| Kategorie zdroje | Moravskoslezský kraj – Emise tuhých znečišťujících látek (TZL) [kt] |      |      |      |      |      |      |      |      |         | Podíl MSK z ČR |
|------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|----------------|
|                  | 2002  | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2010 ČR |                |
| REZZO 1          | 4,20  | 4,99 | 4,8  | 3,86 | 3,84 | 4,32 | 3,35 | 2,59 | 2,84 | 8,92    | 31,8 %         |
| REZZO 2          | 0,48  | 0,44 | 0,5  | 0,52 | 0,65 | 0,73 | 0,71 | 0,36 | 0,25 | 2,49    | 10,0 %         |
| REZZO 3          | 1,34  | 1,21 | 1,17 | 1,24 | 1,18 | 1,99 | 2,34 | 1,50 | 1,56 | 21,47   | 7,3 %          |
| REZZO 4          | 1,99  | 1,96 | 1,94 | 1,98 | 2,08 | 2,06 | 1,97 | 2,07 | 2,06 | 29,48   | 7,0 %          |
| CELKEM           | 8,00  | 8,59 | 8,42 | 7,60 | 7,76 | 9,09 | 8,38 | 6,52 | 6,70 | 62,4    | 10,7 %         |





**Obrázek 5** Vývoj emisí tuhých znečišťujících látek na území MSK, zdroj: Situační zpráva k Programu snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje 2010

Zatím co na republikové úrovni mají na emisích největší podíl mobilní zdroje (cca 45 %), v MSK je tomu zcela jinak. Největší podíl na emisi TZL mají zvláště velké a velké zdroje (cca 30 - 40 %), následují je zdroji malé s cca 25 % a dále mobilní zdroje znečišťování ovzduší s cca 23 % emisí TZL. Podíl středních zdrojů na celkových emisích je jak na republikové tak i krajské úrovni méně významný (*Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010*).

Nejvýraznější změny v množství emisí jsou zřetelné v případě velkých a zvláště velkých zdrojů. Roční výkyvy množství emisí TZL nastávají oběma směry, celkově však lze říci, že je trend emisí TZL v MSK klesající. V případě středních a mobilních zdrojů lze vysledovat relativně stabilní množství vykazovaných emisí TZL (*Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010*).

Tuhé znečišťující látky, a zejména jejich velikostní frakce  $PM_{10}$  a  $PM_{2.5}$ , představují největší imisní problém MSK. Specifickým rysem kraje je jednak velmi vysoký (a v rámci ČR nejvyšší) podíl velkých a zvláště velkých stacionárních zdrojů na celkových emisích TZL a jednak to, že většina emisí pochází z ostatních (technologických) zdrojů znečišťování ovzduší (*Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010*).

### Emise těžkých kovů ze stacionárních zdrojů na území MSK

Emise sledovaných těžkých kovů ze stacionárních zdrojů emisí jsou u zvláště velkých a velkých zdrojů určeny z dat ČHMÚ, pro střední a malé zdroje jsou stanoveny pomocí emisních faktorů ze spotřeby paliva (*Situační zpráva k Programu snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje 2010*).

**Tabulka 7 Emise těžkých kovů stacionárními zdroji na území MSK za rok 2010**, zdroj: Situační zpráva k Programu snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje 2010

| Kategorie zdrojů | Emise těžkých kovů v Moravskoslezském kraji ze stacionárních zdrojů |       |        |       |       |       |       |       |        |
|------------------|---|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                  | Cd  | Hg    | Pb     | As    | Cr    | Cu    | Ni    | Se    | Zn     |
|                  | t/rok   |       |        |       |       |       |       |       |        |
| REZZO 1          | 0,232   | 0,740 | 11,369 | 0,092 | 5,660 | 7,164 | 0,183 | *     | 14,018 |
| REZZO 2          | 0,01  | 0,02  | 0,01   | 0,01  | 0,01  | 0,03  | 0,18  | 0,01  | 0,193  |
| REZZO 3          | 0,001   | 0,024 | 0,051  | 0,024 | 0,004 | 0,020 | 0,010 | 0,008 | 0,178  |

\* Data nejsou k dispozici

Je logicky předvídatelné, že zdroje kategorie REZZO 1 jsou největšími producenty těžkých kovů do okolí. Mezi kovy emitovány do prostředí v největším množství řadíme zinek, olovo, měď nebo chrom. Množství těžkých kovů emitovaných zdroji REZZO 2 je v případě Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Se a Zn mírně vyšší než u zdrojů kategorie REZZO 3. V případě kovů jako je Hg, As je tomu naopak.

#### 3.2.1 Nejvýznamnější stacionární průmyslové a energetické zdroje znečišťování ovzduší – TZL (REZZO 1 a 2)

Zdrojem REZZO 1 nazýváme stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW a zařízení zvláště závažných technologických procesů. Mezi nejvýznamnější původce emisí TZL na území kraje patří provozy, které vyrábějí železo, ocel a koks, zdroje podnikové energetiky, výroby elektrické nebo tepelné energie pro veřejné sítě, dále zdroje související s těžební činností a výroba buničiny (*Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010; Situační zpráva k Programu snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje 2010; Program rozvoje Moravskoslezského kraje, 2006; gis.osu.cz*). Zdrojem kategorie REZZO 2 se rozumí stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW, zařízení závažných technologických procesů (např. uhelné lomy a plochy s možností hoření, zapaření nebo úletu ZL). Střední zdroje REZZO 2 mají na celkových emisích

v kraji nejmenší podíl (*Gajdušek, Návrh územního plánu velkého územního celku Ostrava – Karviná; Situační zpráva k Programu snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje 2010; gis.osu.cz*).

**Tabulka 8 Výčet provozoven podílejících se na emisích TZL ze stacionárních zdrojů > 0,5 %, Moravskoslezský kraj 2008, zdroj: Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010**

| Provozovna  | Obec                  | TZL [t/rok]    | Podíl na emisích ze stacionárních zdrojů MS K (%) | Podíl na celkových emisích MS K (%) |
|---|-----------------------|----------------|---|-------------------------------------|
| <i>ArcelorMittal Ostrava a.s.-závod 12-Vysoké pece</i>                | Ostrava               | 945,24         | 14,8  | 11,3                                |
| <i>TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. - Výroba surového železa</i>              | Třinec                | 511,82         | 8,0   | 6,1                                 |
| <i>BÖGL a KRÝSL-SILNICE MORAVA s.r.o. – Kamenolom Tisová</i>          | Vitkov                | 286,36         | 4,5   | 3,4                                 |
| <i>ArcelorMittal Ostrava a.s.-závod 10-Koksovna</i>                   | Ostrava               | 244,89         | 3,8   | 2,9                                 |
| <i>ArcelorMittal Ostrava a.s.-závod 13-Ocelárna</i>                   | Ostrava               | 210,35         | 3,3   | 2,5                                 |
| <i>TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. - Ocelářská výroba</i>                    | Třinec                | 209,32         | 3,3   | 2,5                                 |
| <i>EUROVIA LOM Jakubčovice s.r.o. - Jakubčovice n.O., Vítkovská</i>   | Jakubčovice nad Odrou | 145,80         | 2,3   | 1,7                                 |
| <i>ArcelorMittal Ostrava a.s.-závod 4-Energetika</i>                  | Ostrava               | 124,69         | 1,9   | 1,5                                 |
| <i>Dalkia Česká republika, a.s. - Elektrárna Třebovice</i>            | Ostrava               | 120,20         | 1,9   | 1,4                                 |
| <i>OKD, OKK, a.s. - Koksovna Svoboda</i>                              | Ostrava               | 81,69          | 1,3   | 1,0                                 |
| <i>ENERGETIKA TŘINEC a.s. - provozu teplárny a tepelná Energetika</i> | Třinec                | 81,05          | 1,3   | 1,0                                 |
| <i>TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. - Koksochemická výroba</i>                | Třinec                | 75,25          | 1,2   | 0,9                                 |
| <i>Štěrkovny spol. s.r.o. Dolní Benešov- Kamenolom Valšov II</i>      | Valšov                | 73,66          | 1,1   | 0,9                                 |
| <i>EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s.</i>                                    | Ostrava               | 72,20          | 1,1   | 0,9                                 |
| <i>ČEZ, a.s.- Elektrárna Dětmarovice</i>                              | Dětmarovice           | 61,87          | 1,0   | 0,7                                 |
| <i>ČEZ, a.s.- Teplárna Vítkovice</i>                                  | Ostrava               | 58,61          | 0,9   | 0,7                                 |
| <i>Biocel Paskov a.s. - Výroba sulfitové buničiny</i>                 | Paskov                | 48,34          | 0,8   | 0,6                                 |
| <i>OKD, a.s., Dul Paskov- Výdušná jáma Staříč</i>                     | Staříč                | 43,83          | 0,7   | 0,5                                 |
| <i>Dalkia Česká republika, a.s.- Teplárna Karviná</i>                 | Karviná               | 36,33          | 0,6   | 0,4                                 |
| <b>Celkem</b>   |                       | <b>3431,45</b> | <b>53,5</b>                                       | <b>41,0</b>                         |

Z **Tabulky 8** je zřetelné, že mezi největší znečišťovatele tuhými znečišťujícími látkami na území Moravskoslezského kraje jednoznačně patří ArcelorMittal Ostrava a.s, jehož jednotlivé provozovny obsadily několik předních pozic. Nejvíce znečišťujících látek bylo vyprodukováno provozem ArcelorMittal Ostrava a.s, Závod 12 – Vysoké pece, téměř o polovinu méně TZL vyprodukovaly ve sledovaném roce Třinecké železářny a.s. s výrobou surového železa a pomyslnou třetí příčku obsadil Bögl a Krýsl - Silnice Morava s.r.o. – Kamenolom Tisová opět z téměř poloviční produkci TZL. Ze získaných dat také vyplývá, že zdroje TZL ze skupiny REZZO 1 a 2 se podílejí na emisích ze stacionárních zdrojů MSK takřka z 54 % a na celkových emisích MSK ze 41 %.

### **3.2.2 Malé stacionární zdroje znečišťování ovzduší – TZL (REZZO 3)**

Malé zdroje znečišťování vzduší, jsou významné hlavně z hlediska emisí TZL (lokální topeniště), VOC (používání organických rozpouštědel) a NH<sub>3</sub> (živočišná výroba) (*Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010*).

Lokální topeniště představují velice významný zdroj znečišťování ovzduší a to z důvodu jejich množství, umístění v obytné zástavbě, nízkým komínům, použitým palivům a kvalitě kotlů. Lokálně mohou způsobovat významné zhoršení kvality ovzduší (*gis.osu.cz*).

Je nutno zmínit, že emise malých zdrojů jsou vypočítávány na základě údajů o způsobu vytápění domácností a mohou být zatíženy značnými nepřesnostmi. Aktuální poznatky o emisích z lokálních topenišť navíc poukazují, že emise některých znečišťujících látek vykazovaných v REZZO 3 se stávající metodikou ČHMÚ, mohou být značně podhodnocené (*Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010*).

Následující tabulka uvádí emise znečišťujících látek ve vybraných obcích MSK. Emise byly stanoveny modelovým výpočtem z údajů o vytápění domácností (*Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010*).

**Tabulka 9 Emise TZL z malých zdrojů – obce s největší produkcí TZL za rok 2008**, zdroj: Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010

| Okres   | Obec/Městská část            | TZL [t/rok] | Okres           | Obec/Městská část      | TZL [t/rok] |
|---------|------------------------------|-------------|-----------------|------------------------|-------------|
| Bruntál | Krnov                        | 25,1        | Frýdek - Místek | Třinec                 | 71,1        |
| Bruntál | Rýmařov                      | 24,9        | Frýdek - Místek | Frýdek - Místek        | 52,1        |
| Bruntál | Vrbno pod Pradědem           | 15,3        | Frýdek - Místek | Mosty u Jablunkova     | 32,6        |
| Bruntál | Horní Benešov                | 15,3        | Frýdek - Místek | Frýdlant nad Ostravicí | 27,0        |
| Bruntál | Město Albrechtice            | 13,5        | Frýdek - Místek | Jablunkov              | 21,8        |
| Karviná | Orlová                       | 62,7        | Nový Jičín      | Odry                   | 20,4        |
| Karviná | Petřvald                     | 42,2        | Nový Jičín      | Bílovec                | 19,9        |
| Karviná | Karviná                      | 36,5        | Nový Jičín      | Fulnek                 | 17,7        |
| Karviná | Rychvald                     | 32,1        | Nový Jičín      | Nový Jičín             | 16,4        |
| Karviná | Havířov                      | 26,4        | Nový Jičín      | Frenštát pod Radhoštěm | 13,3        |
| Opava   | Hradec nad Moravicí          | 19,0        | Ostrava         | Slezská Ostrava        | 49,0        |
| Opava   | Opava (nečleněná část města) | 17,6        | Ostrava         | Vratimov               | 23,4        |
| Opava   | Vítkov                       | 17,5        | Ostrava         | Šenov                  | 19,8        |
| Opava   | Budišov nad Budišovkou       | 16,5        | Ostrava         | Radvanice a Bartovice  | 16,7        |
| Opava   | Hlučín                       | 12,7        | Ostrava         | Klimkovice             | 15,1        |

Z **Tabulky 9** vyplývá, že nejvíce zatíženými oblastmi tuhými znečišťujícími látkami z malých zdrojů (REZZO 3) jsou Karvinsko a Frýdecko- Místecko, což je pravděpodobně způsobeno neúplnou plynofikací oblastí, či nepřítomností jiných alternativních možností vytápění, nebo nemalou úlohu může hrát i sociální situace zdejších obyvatel.

### 3.2.3 Mobilní zdroje znečišťování ovzduší – TZL (REZZO 4)

Skupina mobilních zdrojů znečišťování ovzduší zahrnuje emise ze silniční, železniční, vodní, letecké dopravy a také emise z nesilničních zdrojů (stroje stavební, zemědělské, lesnické apod.) (*Situační zpráva k Programu snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje 2010; www.mzp.cz*).

V posledních letech významně narůstá počet motorových vozidel. Mezi motorovými vozidly zřetelně převládají automobily osobní, tvoří cca 78 % celkového počtu

evidovaných dopravních prostředků v MSK (*Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010*).

Analýza emisí z dopravy byla provedena na základě údajů o sčítání dopravy v roce 2005 (zdroj dat: ŘSD) (*Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010*).

**Tabulka 10** Emise základních znečišťujících látek podle druhu silničních vozidel (%), zdroj: Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010

| Znečišťující látka | Osobní automobily | Lehké nákladní automobily | Těžké nákladní automobily | Autobusy |
|--------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|----------|
| TZL                | 11,5              | 13,7                      | 53,6                      | 21,2     |
| PM <sub>10</sub>   | 11,7              | 13,9                      | 53,3                      | 21,1     |

Největšími producenty tuhých znečišťujících látek a částic PM<sub>10</sub> jsou těžké nákladní automobily s více než 50 % celkových vyprodukovaných znečišťujících látek pro veškeré sledované silniční vozidla. Naopak nejméně vyprodukovaných TZL a částic PM<sub>10</sub> bylo zjištěno u automobilů osobních a to okolo pouhých 11 %.

**Tabulka 11** Rozdělení emisí TZL z dopravy podle tříd komunikací (%), zdroj: Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje, 2010

| Kategorie                  | TZL |
|----------------------------|-----|
| Dálnice a silnice I. třídy | 68  |
| Silnice II. třídy          | 20  |
| Ostatní komunikace         | 12  |

Z **Tabulky 11** vyplývá, že pro tuhé znečišťující látky mají dálnice a silnice I. třídy zhruba dvoutřetinový podíl na celkových emisích ze silniční dopravy.

### 3.3 Integrovaný registr znečištění

Česká republika se vstupem do Evropské unie a podpisem významných mezinárodních dokumentů (*Aarhuská úmluva, Protokol o registrech úniků a přenosů znečišťujících látek*) zavázala plnit povinnosti v oblasti životního prostředí vyplývající z těchto mezinárodních aktů. A to zejména shromažďovat a šířit informace o životním prostředí, umožňovat svobodný přístup veřejnosti k těmto informacím a tvořit registr úniků a přenosů znečišťujících látek ([www.iz.cz](http://www.iz.cz)).

Ke splnění závazků bylo nutné doplnit legislativu České republiky o nové právní nástroje. Proto byl přijat zákon č. 76/2002 Sb., *o integrované prevenci a omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování* a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (zákon o integrované prevenci). Zákon dal vzniknout integrovanému registru

znečišťování životního prostředí (dále jen integrovaný registr znečišťování – IRZ) jako veřejně přístupný informační systém emisí a přenosů znečišťujících látek ([www.irz.cz](http://www.irz.cz)).

Moravskoslezský kraj je krajem České republiky s největším počtem podniků, které jsou sledovány v rámci integrovaného registru znečištění. Za MSK dále následuje kraj Ústecký, Středočeský a Zlínský ([www.priroda.cz](http://www.priroda.cz); [www.cistenebe.cz](http://www.cistenebe.cz)).

Ačkoliv na území MSK došlo v posledních letech k výraznému útlumu průmyslu, zůstávají hutě pro zdejší obyvatele stále trnem v oku. Jsou stále považovány za hlavního viníka znečišťování ovzduší v regionu. Avšak podle vyjádření mluvčích největších průmyslových podniků MSK (ArcelorMittal Ostrava, Třinecké železářny) v porovnání s obdobím před revolucí došlo k významnému poklesu množství prachu emitovaného do ovzduší a to až o 99 % ([zpravy.ihned.cz](http://zpravy.ihned.cz); [moravskoslezsky.denik.cz](http://moravskoslezsky.denik.cz)). V emisích ubylo také množství těžkých kovů, což značí nižší míru ohrožení rakvinotvornými a potenciálně rakvinotvornými látkami ([arnika.org](http://arnika.org)).

Za rok 2011 v Moravskoslezském kraji v produkci jemného poléťavého prachu vévodily podniky jako ArcelorMittal Ostrava s 505 t/rok a Třinecké železářny s 496 t/rok. Je nutno zmínit, že množství poléťavého prachu vyprodukovaných ArcelorMittalem Ostrava se snížilo oproti předešlému roku (r. 2010) o 40 %, což představuje 230 tun poléťavého prachu a u Třineckých železáren došlo k poklesu produkce poléťavého prachu o 26 %, což činí 170 tun. Velice důležitý je i úbytek emisí těžkých kovů. Dále v roce 2010 společnost OKK Koksozny uzavřela svou provozovnu Jan Šverma, což opět snížilo množství emitovaných částic PM<sub>10</sub> do ovzduší na území MSK. V současnosti již funguje jen Koksozna Svoboda, která navíc prošla procesem ekologizace, což také snížilo celkové zatížení kraje poléťavým prachem (*Tabulky s žebříčky největších znečišťovatelů podle IRZ pro Moravskoslezský kraj, 2011; Tabulky s žebříčky největších znečišťovatelů podle IRZ pro Moravskoslezský kraj, 2010; Tabulky s žebříčky největších znečišťovatelů podle IRZ pro Českou republiku, 2011; [www.ceskatelevize.cz](http://www.ceskatelevize.cz); [moravskoslezsky.denik.cz](http://moravskoslezsky.denik.cz); [www.enviport.cz](http://www.enviport.cz); [zpravy.e15.cz](http://zpravy.e15.cz); [m.moravskoslezskenovinky.cz](http://m.moravskoslezskenovinky.cz)*).

Takto výrazného snížení emisí bylo dosaženo pomocí obrovských investic do ekologických opatření a moderních technologií. Celková výše investic dosahovala několika miliard korun. Například Společnost ArcelorMittal Ostrava od roku 2006 investovala do ekologizace huti přes 3 miliardy korun, největší investici při tom

představoval tkaninový filtr umístěný na aglomeraci Sever (1 miliardu) s deklarovanou účinností 99,9 % pro prachové částice ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  a  $PM_1$ ). Roční emise na aglomeraci Sever se snížily o 270 tun. Třinecké železářny do ekologizace od roku 1996 investovaly okolo 5,5 miliardy korun a to na rekonstrukci chemických provozů koksovny či odsíření koksového plynu apod. (*moravskoslezsky.denik.cz*).

**Tabulka 12 Největší producenti částic  $PM_{10}$  na území MSK zařazených do IRZ za rok 2011, zdroj:**

Tabulky s žebříčky největších znečišťovatelů podle IRZ pro Moravskoslezský kraj, 2011

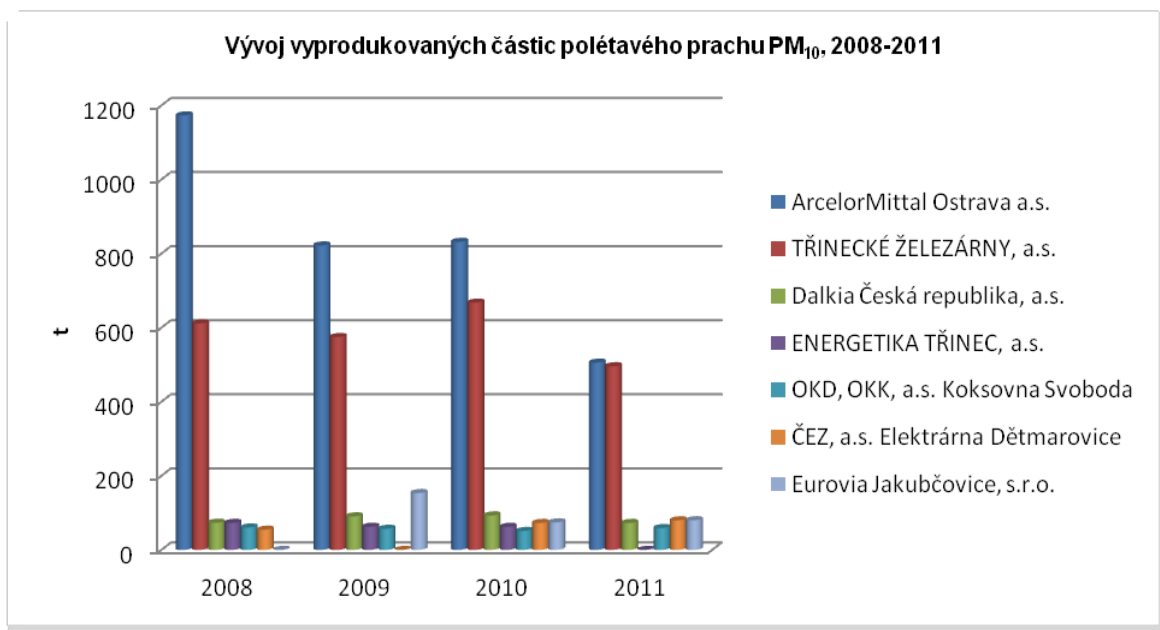
| Poř. | Organizace/firma                    | Provozovna                               | Lokalita    | $PM_{10}$ [kg] | Trend |
|------|-------------------------------------|--|-------------|----------------|-------|
| 1.   | ArcelorMittal Ostrava a.s.          | ArcelorMittal Ostrava a.s.               | Ostrava     | 505393         | ↓     |
| 2.   | TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.            | TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. - provoz Třinec | Třinec      | 495637         | ↓     |
| 3.   | ArcelorMittal Energy Ostrava s.r.o. | Provoz 46 - Teplárna                     | Ostrava     | 82936          | ↓     |
| 4.   | EUROVIA Jakubčovice, s.r.o.         | Kamenolom Jakubčovice                    | Jakubčovice | 80111          | ↑     |
| 5.   | ČEZ, a.s.                           | Elektrárna Dětmarovice                   | Dětmarovice | 79736          | ↑     |
| 6.   | Dalkia Česká republika, a.s.        | Elektrárna Třebovice                     | Ostrava     | 72687          | ↓     |
| 7.   | OKD, OKK, a.s.                      | Koksovna Svoboda                         | Ostrava     | 58914          | ↑     |

**Tabulka 13 Množství vyprodukovaného polévatého prachu  $PM_{10}$  na území MSK největšími**

**znečišťovateli uvedenými v integrovaném registru znečištění, 2008-2011, zdroj:** Tabulky s žebříčky největších znečišťovatelů podle IRZ pro Moravskoslezský kraj, 2008, 2009, 2010, 2011

| <b>Množství vyprodukovaného polévatého prachu <math>PM_{10}</math> na území MSK největšími znečišťovateli uvedenými v IRZ, 2008-2011</b> |          |         |         |         |
|--|----------|---------|---------|---------|
| Organizace/firma   | Rok      |         |         |         |
|  | 2008     | 2009    | 2010    | 2011    |
|  | t/rok    |         |         |         |
| ArcelorMittal Ostrava a.s.   | 1172,995 | 822,002 | 831,597 | 505,393 |
| TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.   | 611,37   | 574,697 | 667,439 | 495,637 |
| Dalkia Česká republika, a.s.   | 73,32    | 90,517  | 92,947  | 72,687  |
| ENERGETIKA TŘINEC, a.s.  | 72,84    | 62,418  | 62,268  | 0       |
| OKD, OKK, a.s. Koksovna Svoboda  | 60,48    | 56,922  | 50,987  | 58,914  |
| ČEZ, a.s. Elektrárna Dětmarovice   | 54,443   | 0       | 72,687  | 79,736  |
| Eurovia Jakubčovice, s.r.o.  | 0        | 153,53  | 74,216  | 80,111  |





**Obrázek 6 Množství vyprodukovaného polétavého prachu  $PM_{10}$  na území MSK největšími znečišťovateli uvedenými v integrovaném registru znečištění, 2008-2011**

Z Tabulky 13 a Obrázku 6 je jednoznačně viditelné, že došlo k výraznému snížení množství vyprodukovaného polétavého prachu téměř u všech vybraných provozoven. K nejvýznamnějšímu omezení TZL došlo u největších znečišťovatelů, jako jsou ArcelorMittal Ostrava a Třinecké železářny.

## 4. Emisní faktory

Emisní faktor je veličina vyjadřující střední množství sledované škodliviny vzniklé při spálení jednotkového množství určitého paliva v daném spalovacím zařízení za přesně definovaných podmínek ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)). Skutečná hodnota emisního faktoru je velice proměnlivou hodnotou záviselící na těchto základních faktorech:

- konstrukce spalovacího zařízení (konstrukce spalovací komory, rozvody spalovacího vzduchu, typ spalování, prohořívání, odhořívání),
- způsob přikládání paliva (dávkově, kontinuálně),
- provozní podmínky spalovacího zařízení (kvalifikovanost obsluhy, teplota ve spalovací komoře, regulace přívodu spalovacího vzduchu),
- vlastnosti paliva (vlhkost, zrnitost) (*Horák et al., 2009*).

Emisní faktory a emisní inventarizace jsou již dlouhou dobu základní nástroje pro řízení kvality ovzduší. Emisní odhady jsou důležité pro rozvoj strategií regulujících emise, zjišťování účinků zdrojů a mnoho dalších. Emisní faktory jsou často nejlepší nebo jedinou metodou pro odhad emisí. Tyto faktory usnadňují odhad emisí z různých zdrojů znečišťování ovzduší ([www.esho.com](http://www.esho.com)).

Emisních faktorů může být využito pro tzv. emisní bilanci, která se skládá ze dvou základních složek - polutant a zdroj emisí. Mezi běžně sledované polutanty patří TSP, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO a uhlovodíky. Tyto polutanty mohou být emitovány při spalování paliv, dopravě nebo průmyslových činnostech. US EPA rozeznává 5 základních typů zdrojů, které jsou:

**1. Bodové zdroje** – emisní charakteristiky jednotlivých zařízení se značně liší, a proto je každý objekt posuzován individuálně.

**2. Plošné zdroje** – zde patří zdroje (stacionární zdroje, které nejsou uvedeny samostatně), které jednotlivě neemitují významné množství škodlivin, ale společně mohou významně ovlivňovat celkovou emisní bilanci.

**3. Mobilní zdroje** – tuto skupinu tvoří silniční motorová vozidla (osobní automobily, nákladní automobily, autobusy a motocykly).

**4. Nesilniční mobilní zdroje** - tyto zdroje zahrnují čluny a lodě, vlaky, letadla, zahradní, zemědělskou a stavební techniku.

**5. Přírodní zdroje** (*Tsagatakis et al., 2010*).

Během spalování fosilních paliv dochází k emisi obrovské škály znečišťujících látek např. prachových částic a emisi těžkých kovů. V rámci této problematiky je nutno zaměřit se nejen na velká průmyslová topeniště ale rovněž na neméně podstatná topeniště lokální. U malých zdrojů vystává obrovský problém s úrovní doposud používaných technik. Většinou je stále používáno spalování v klasických roštových kotlích bez jakéhokoli čištění spalin a spalování nevytříděného uhlí, což zvyšuje emisi TZL do ovzduší. Přitom lze předpokládat, že tento stav bude trvat ještě dlouhou dobu (*Ritz et al., 2003*).

Do popředí zájmu se stále více dostávají emise těžkých kovů. Tyto látky jsou v průběhu spalovacího procesu sorbovány/kondenzovány na povrchu pevných částic. Přičemž z důvodu velkého měrného povrchu částic jsou nejvyšší obsahy těžkých kovů na submikroskopických částicích, které jsou jen velmi obtížně odstranitelné pomocí speciálních odlučovacích zařízení, a mohou tak být transportovány na velké vzdálenosti (*Baek et al., 1991*). Proto je úroveň snižování emisí těžkých kovů značně závislá na kvalitě zařízení pro odlučování pevných částic (*Ritz et al., 2003; Noskievič a Kaminský, 1996; Galbreath et al., 2000*). Mezi nejrizikovější látky zatěžující životní prostředí, které unikají při spalování fosilních paliv tedy, patří těžké kovy. Tento polutant se v emisích může vyskytovat jak ve stavu plynném tak pevném. Mezi kovy, u nichž lze předpokládat podstatný podíl emisí v plynné fázi patří hlavně rtuť a částečně i arsen, thalium a selen (*Ritz et al., 2003; Yan et al., 2001*).

Těžké kovy jsou do životního prostředí vnášeny převážně spalováním fosilních paliv, odpadů a biomasy, procesy v metalurgii a sklárství (*Ritz et al., 2003; Roubíček a Buchtele, 2002; Svoboda et al., 1998*).

Z důvodů vysokých teplot ve spalovací zóně odcházejí těkavé těžké kovy z ohniště ve stavu plynném. Ve chvíli, kdy opustí tuto zónu, dojde k prudkému poklesu teploty a následnému ochlazení par těžkých kovů, částic popílku i kouřového plynu. Tato situace vede k adsorpci či kondenzaci par těžkých kovů na povrch částic popílku. Zde je využita jedna ze základních vlastností mikroskopických částic, kdy nejjemnější frakce popílku disponují s největším měrným povrchem. Z toho vyplývá, že se největší koncentrace těžkých kovů bude nacházet v submikroskopických frakcích popílku (*Ritz et al., 2003*).

Těkavost těžkých kovů závisí na obrovské škále faktorů (*Bartoňová, 2002*). Mezi nejdůležitější faktory patří obsah těžkých kovů v palivu a způsob jejich vazby. Dále

těkavost kovů úzce souvisí s body varu jednotlivých prvků a jejich sloučenin. Dalšími faktory, které jsou schopny ovlivnit množství emitovaných těžkých kovů během procesu spalování, jsou druh spalovacího a odlučovacího zařízení, teplota spalování a doba expozice, výkon spalovací jednotky, či fyzikálně- chemické reakce kovů s látkami jako jsou síra nebo halogeny (*Klika et al., 2001; Ritz et al., 2003*).

### **Těžké kovy a jejich sorpce na submikroskopické částice**

Těžké kovy bývají rozděleny do skupin dle jejich distribuce v produktech spalování (mohou se nacházet v ložovém popelu, v úletovém popílku, v plynném aerosolu nebo plynných emisích) (*Ritz et al., 2003*).

Querol a kol. (r. 1995) uvádí, že v TZL se většinou nacházejí kovy jako As, Bi, Cd, Ge, Hg, Mo, Pb, Se, Sb, Sn, Tl a další. Tyto kovy se hojně nacházejí i v nejjemnější frakci TZL s průměrem částic pod 10  $\mu\text{m}$ . Dle Yana a kol. (r. 2001) se v submikronových frakcích TZL mohou nacházet např. As, Cd, Cu, Pb a Zn. Podle Kleina a kol. (r. 1975) patří mezi prvky, které obohacují TZL As, Cd, Cu, Ga, Pb, Sb, Se a Zn. Meije a kol. (r. 1986) řadí mezi kovy v TZL As, Cd, Pb, Sb, Se, W a Zn. Dále také vyčleňuje skupinu kovů nacházejících se jak v popelu ložovém tak v TZL. Do této skupiny patří Be, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, U a V (*Ritz et al., 2003*).

## **4.1 PM<sub>10</sub> a kovy pro nejvýznamnější průmyslové technologie**

Hodnoty emisních faktorů pro jednotlivé průmyslové procesy lze získat buď z českých legislativních předpisů nebo ze zahraniční databáze NAEI („National Atmospheric Emissions Inventory“).

Český hydrometeorologický ústav pomocí koeficientů počítá emise těžkých kovů u zdrojů, které tyto emise sice přímo neměří, ale jejich produkce se vypočítává pomocí stanovených emisních faktorů (EF), odděleně pro skupiny zdrojů REZZO 1 na základě EF stanoveného pomocí druhu paliva, výkonu a typu topeniště a zdroje skupiny REZZO 2 (i REZZO 3) na základě spotřeby paliv (*Hon et al., 2005*).

Také zpráva NAEI poskytuje detaily emisí podle odvětví pro všechny znečišťující látky. Emisní faktory se liší nejen pro jednotlivé výrobní odvětví, ale jsou také rozdílné pro individuální druhy paliva a způsoby jejich spalování. Jednotlivé emisní faktory podle

zdroje a druhu paliva jsou shromážděny pod záštitou „**National Atmospheric Emissions Inventory**“, na jejichž webových stránkách je dostupná databáze všech emisních faktorů (Murrells et al., 2010; Tsagatakis et al., 2010; [naei.defra.gov.uk](http://naei.defra.gov.uk)).

Mezi jedny z největších producentů látek znečišťujících ovzduší patří výroba elektrické a tepelné energie spalováním fosilních paliv. Pro niž jsou stanoveny jednotlivé emisní faktory dle druhu paliva, a technologie spalování viz následující **Tabulka 14**.

**Tabulka 14 Emisní faktory pro energetiku**, zdroj: [naei.defra.gov.uk](http://naei.defra.gov.uk)

| Emisní faktory pro PM <sub>10</sub> a těžké kovy z energetiky |                            |              |               |                             |
|---|----------------------------|--------------|---------------|-----------------------------|
| Energetika - Výroba elektrické energie a tepla pro veřejnost  |                            |              |               |                             |
| Škodlivina  | Zdroj                      | Palivo       | Emisní faktor | Jednotka                    |
| Arzen   | Různá průmyslová spalování | -            | 0,0000051     | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   | Elektrárny                 | Uhlí         | 0,000016      |                             |
|   |                            | -            | 0,0000051     |                             |
|   |                            | Ostatní tuhá | 0,00028       |                             |
|   |                            | -            | 0,000100      |                             |
| Kadmium   | Různá průmyslová spalování | -            | 0,0000085     | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   | Elektrárny                 | Uhlí         | 0,0000012     |                             |
|   |                            | Ostatní tuhá | 0,000018      |                             |
|   |                            | -            | 0,0000085     |                             |
|   |                            |              | 0,00020       |                             |
| Chrom   | Různá průmyslová spalování | -            | 0,00012       | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   | Elektrárny                 |              | 0,0001        |                             |
|   |                            |              | 0,00012       |                             |
|   | Uhlí                       | 0,000027     |               |                             |
|   | Ostatní tuhá               | 0,0001       |               |                             |
| Měď   | Různá průmyslová spalování | -            | 0,00004       | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   | Elektrárny                 |              | 0,00004       |                             |
|   |                            |              | 0,002         |                             |
|   | Uhlí                       | 0,000037     |               |                             |
|   | Ostatní tuhá               | 0,00017      |               |                             |
| Nikl  | Různá průmyslová spalování | -            | 0,000062      | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   | Elektrárny                 |              | 0,000062      |                             |
|   |                            |              | 0,0001        |                             |
|   | Uhlí                       | 0,00003      |               |                             |
|   | Ostatní tuhá               | 0,00033      |               |                             |
| Selen   | Elektrárny                 | Uhlí         | 0,00015       | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   |                            | Ostatní tuhá | 0,000038      |                             |
| Zinek   | Různá průmyslová spalování | -            | 0,00028       | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   | Elektrárny                 |              | 0,00028       |                             |
|   |                            |              | 0,20          |                             |
|   | Uhlí                       | 0,00011      |               |                             |
|   | Ostatní tuhá               | 0,0018       |               |                             |

| Emisní faktory pro PM <sub>10</sub> a těžké kovy z energetiky |            |               |               |                             |
|---|------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| Energetika - Výroba elektrické energie a tepla pro veřejnost  |            |               |               |                             |
| Škodlivina  | Zdroj      | Palivo        | Emisní faktor | Jednotka                    |
| PM <sub>10</sub>  | Elektrárny | Zemní plyn    | 0,000081      | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   |            | Ostatní tuhá  | 2,4           |                             |
|   |            | -             | 0,008         |                             |
|   |            |               | 2,6           |                             |
|   |            | Ostatní plyny | 0,00054       |                             |
|   |            |               | 0,001         |                             |
|   |            | Uhlí          | 0,1           |                             |
|   |            |               |               |                             |

Mezi velice důležité producenty TZL (které vznikají např. při manipulaci se surovinami, vsázce materiálu, odsíření atd.) a na ně sorbovaných těžkých kovů patří také výroba oceli a železa. Na samotnou výrobu 1 tuny železa je zapotřebí 1,4 tun rudy nebo jiného železného materiálu; 0,5 - 0,65 tuny koksu; 0,25 tuny vápence nebo dolomitu a 1,8 až 2,0 tuny vzduchu. Během samotné výroby železa a oceli vznikají vedlejší produkty, mezi které patří 0,2 - 0,4 tuny strusky, a 2,5 - 3,5 tuny vysokopečního plynu (obsahuje až 45 kg prachu). Samozřejmě během výroby dochází k emisi zmíněných znečišťujících látek, pro kterou jsou stanoveny jednotlivé emisní faktory, viz **Tabulka 15**. Neméně podstatná v produkci TZL je výroba cementu, pro niž jsou stanoveny emisní faktory týkající se částic PM<sub>10</sub> viz **Tabulka 16**. Emisní faktory těžkých kovů nejsou stanoveny, neboť většina kovů opouští výrobní proces jako součást slínku. Také výroba a následné zpracování hliníku produkuje obrovské množství znečišťujících látek, mezi něž patří prachové částice o velikosti menší než 10 µm a řada těžkých kovů jako arzen, kadmium, zinek či nikl. I pro tento výrobní proces a jednotlivé škodliviny jsou v rámci NAEI stanoveny příslušné emisní faktory viz **Tabulka 17** (*Passant et al., 2002*).

Dalším významným producentem je výroba koksu pro použití v průmyslu železa a oceli, ve slévárnách a jako bezdýmného paliva a výroba ostatních výrobků zpracovatelského pevného bezdýmného paliva. Na vyrobení 1 tuny koksu je potřeba přibližně 1,6 tun uhlí. Během výroby je do okolního prostředí emitována celá škála látek např. prachové částice, které vznikají drcením uhlí, kalením koksu, manipulací, drcením a tříděním koksu, či spalování koksárenského plynu; nebo kovy (kadmium, chrom, měď, nikl, rtuť, olovo, zinek, které jsou součástí uhlí a uvolňují se při procesu karbonizace). Pro jednotlivé znečišťující látky jsou stanoveny individuální emisní faktory, viz **Tabulka 18** (*Passant et al., 2002*).

Nezanedbatelným odvětvím průmyslu na území Moravskoslezského kraje je průmysl chemický, který produkuje celou škálu těžkých kovů a prachových částic, pro něž jsou rovněž stanoveny jednotlivé emisní faktory, viz **Tabulka 19**.

**Tabulka 15 Emisní faktory pro některá průmyslová odvětví – výroba železa a oceli**, zdroj:

naei.defra.gov.uk

| Emisní faktory pro PM10 a těžké kovy z jednotlivých výrobních odvětví |                           |               |               |                             |
|---|---------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| Průmyslové odvětví  |                           |               |               |                             |
| 1. Výroba železa a oceli  |                           |               |               |                             |
| Škodlivina  | Zdroj                     | Palivo        | Emisní faktor | Jednotka                    |
| Arzen   | Vysoké pece               | -             | 0,00008       | Kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Výroba aglomerátu         |               | 0,0000077     |                             |
|   | Elektrické obloukové pece |               | 0,000011      | kt/Mt                       |
|   | Kyslíková pec             |               | 0,000015      | Kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Ocelárny – jiné procesy   |               | 0,000000069   | kt/Mt                       |
|   | Spalovací zařízení        | Topný olej    | 0,00017       | Kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   |                           | Uhlí          | 0,00028       |                             |
|   |                           | Ostatní tuhá  |               |                             |
|   |                           | Plynový olej  | 0,000035      |                             |
| Kadmium   | Vysoké pece               | -             | 0,000016      | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Výroba aglomerátu         |               | 0,000029      |                             |
|   | Elektrické obloukové pece |               | 0,000030      | kt/Mt                       |
|   | Kyslíková pec             |               | 0,000031      | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Ocelárny – jiné procesy   |               | 0,000000021   | kt/Mt                       |
|   | Spalovací zařízení        | Topný olej    | 0,0003        | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   |                           | Ostatní tuhá  | 0,000018      |                             |
|   |                           | Uhlí          |               |                             |
|   |                           | Plynové oleje | 0,000028      |                             |

| Emisní faktory pro PM10 a těžké kovy z jednotlivých výrobních odvětví |                           |              |               |                             |
|---|---------------------------|--------------|---------------|-----------------------------|
| Průmyslové odvětví  |                           |              |               |                             |
| 1. Výroba železa a oceli  |                           |              |               |                             |
| Škodlivina  | Zdroj                     | Palivo       | Emisní faktor | Jednotka                    |
| Chrom   | Vysoké pece               | -            | 0,00008       | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Výroba aglomerátu         |              | 0,000063      |                             |
|   | Elektrické obloukové pece |              | 0,00042       | kt/Mt                       |
|   | Kyslíková pec             |              | 0,00005       | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Spalovací zařízení        | Plynový olej | 0,000032      | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   |                           | Ostatní tuhá | 0,0001        |                             |
|   |                           | Uhlí         |               |                             |
|   |                           | Topný olej   | 0,00039       |                             |
| Měď   | Vysoké pece               | -            | 0,00040       | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Výroba aglomerátu         |              | 0,00013       |                             |
|   | Elektrické obloukové pece |              | 0,00018       | kt/Mt                       |
|   | Kyslíková pec             |              | 0,000020      | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Spalovací zařízení        | Plynový olej | 0,00022       | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   |                           | Ostatní tuhá | 0,00017       |                             |
|   |                           | Uhlí         |               |                             |
|   |                           | Topný olej   | 0,00046       |                             |
| Nikl  | Vysoké pece               | -            | 0,00012       | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Výroba aglomerátu         |              | 0,0000091     |                             |
|   | Elektrické obloukové pece |              | 0,00035       | kt/Mt                       |
|   | Kyslíková pec             |              | 0,00005       | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Spalovací zařízení        | Plynový olej | 0,0016        | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   |                           | Ostatní tuhá | 0,00033       |                             |
|   |                           | Uhlí         |               |                             |
|   |                           | Topný olej   | 0,025         |                             |



| Emisní faktory pro PM10 a těžké kovy z jednotlivých výrobních odvětví |                           |              |               |                             |
|---|---------------------------|--------------|---------------|-----------------------------|
| Průmyslové odvětví  |                           |              |               |                             |
| 1. Výroba železa a oceli  |                           |              |               |                             |
| Škodlivina  | Zdroj                     | Palivo       | Emisní faktor | Jednotka                    |
| Selen   | Vysoké pece               | -            | 0,000013      | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Výroba aglomerátu         |              | 0,00013       |                             |
|   | Elektrické obloukové pece |              | 0,0000059     | kt/Mt                       |
|   | Kyslíková pec             |              | 0,0000030     | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Spalovací zařízení        | Plynový olej | 0,00014       | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   |                           | Ostatní tuhá | 0,000038      |                             |
|   |                           | Uhlí         | 0,00012       |                             |
|   |                           | Topný olej   |               |                             |
| Zinek   | Vysoké pece               | -            | 0,0040        | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Výroba aglomerátu         |              | 0,00017       |                             |
|   | Elektrické obloukové pece |              | 0,0078        | kt/Mt                       |
|   | Kyslíková pec             |              | 0,0040        | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Spalovací zařízení        | Plynový olej | 0,00023       | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|   |                           | Ostatní tuhá | 0,0018        |                             |
|   |                           | Uhlí         | 0,001         |                             |
|   |                           | Topný olej   |               |                             |
| PM10  | Vysoké pece               | -            | 0,055         | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Výroba aglomerátu         |              | 0,16          |                             |
|   | Elektrické obloukové pece |              | 0,057         | kt/Mt                       |
|   | Kyslíková pec             |              | 0,076         | kt/Mt vyrobeného materiálu  |
|   | Ocelárny – jiné procesy   |              | 0,0045        | kt/Mt                       |
|   | Ocelárny – zásoby         |              | 0,27          | kt/Mt                       |

Tabulka 16 Emisní faktory pro některá průmyslová odvětví – výroba cementu, zdroj: naei.defra.gov.uk

| Emisní faktory pro PM10 a těžké kovy z jednotlivých výrobních odvětví |                  |        |               |          |
|---|------------------|--------|---------------|----------|
| Průmyslové odvětví  |                  |        |               |          |
| 2. Výroba cementu   |                  |        |               |          |
| Škodlivina  | Zdroj            | Palivo | Emisní faktor | Jednotka |
| Vápník  | Produkce strusky | -      | 13            | t/Mt     |
| Hořčík  |                  |        | 30            |          |
| Draslík   |                  |        | 12            |          |
| Sodík   |                  |        | 10            |          |
| PM <sub>10</sub>  |                  |        | 0,029         | kt/Mt    |

Tabulka 17 Emisní faktory pro některá průmyslová odvětví – výroba hliníku, zdroj: naei.defra.gov.uk

| Emisní faktory pro PM <sub>10</sub> a těžké kovy z jednotlivých výrobních odvětví |                           |        |               |          |
|---|---------------------------|--------|---------------|----------|
| Průmyslové odvětví  |                           |        |               |          |
| 3. Výroba hliníku   |                           |        |               |          |
| Škodlivina  | Zdroj                     | Palivo | Emisní faktor | Jednotka |
| <i>Arzen</i>  | Sekundární výroba hliníku | -      | 0,00014       | kt/Mt    |
| <i>Kadmium</i>  | Výroba hliníku - obecně   |        | 0,0001        |          |
|   | Sekundární výroba hliníku |        | 0,000081      |          |
| <i>Chróom</i>   | Sekundární výroba hliníku |        | 0,00048       |          |
| <i>Měď</i>  | Sekundární výroba hliníku |        | 0,0016        |          |
| <i>Nikl</i>   | Výroba hliníku - obecně   |        | 0,01          |          |
|   | Sekundární výroba hliníku |        | 0,00045       |          |
| <i>Zinek</i>  | Výroba hliníku - obecně   |        | 0,01          |          |
|   | Sekundární výroba hliníku |        | 0,0076        |          |
| <i>PM<sub>10</sub></i>  | Výroba hliníku - obecně   |        | 0,32          |          |
|   | Sekundární výroba hliníku |        | 0,14          |          |
|   | Výroba Alumina            |        | 1,1           |          |

Tabulka 18 Emisní faktory pro další energetická odvětví (např. výroba koksu), zdroj: naei.defra.gov.uk

| Emisní faktory pro PM <sub>10</sub> a těžké kovy z dalších energetických odvětví |                                  |        |               |                             |
|--|----------------------------------|--------|---------------|-----------------------------|
| 1. Transformace tuhých paliv   |                                  |        |               |                             |
| Škodlivina   | Zdroj                            | Palivo | Emisní faktor | Jednotka                    |
| <i>Arzen</i>   | Produkce koksu                   | -      | 0,0000079     | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|  | Výroba pevných bezdýmových paliv | -      | 0,000017      |                             |
| <i>Kadmium</i>   | Produkce koksu                   | -      | 0,0000059     |                             |
|  | Výroba pevných bezdýmových paliv | -      | 0,0004        |                             |
| <i>Chróom</i>  | Produkce koksu                   | -      | 0,00035       |                             |
|  | Výroba pevných bezdýmových paliv | -      | 0,00026       |                             |
| <i>Měď</i>   | Produkce koksu                   | -      | 0,000046      |                             |
|  | Výroba pevných bezdýmových paliv | -      | 0,00007       |                             |
| <i>Nikl</i>  | Produkce koksu                   | -      | 0,0002        |                             |
|  | Výroba pevných bezdýmových paliv | -      | 0,00013       |                             |
| <i>Cín</i>   | Produkce koksu                   | Uhlí   | 0,000064      |                             |
|  | Výroba pevných bezdýmových paliv | Uhlí   | 0,000064      |                             |
| <i>Zinek</i>   | Produkce koksu                   | -      | 0,00054       |                             |
|  | Výroba pevných bezdýmových paliv | -      | 0,0004        |                             |
| <i>PM<sub>10</sub></i>   | Produkce koksu                   | -      | 0,12          |                             |
|  | Výroba pevných bezdýmových paliv | -      | 0,044         |                             |

| Emisní faktory pro PM <sub>10</sub> a těžké kovy z dalších energetických odvětví |                |               |               |                             |
|--|----------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| 2. Výroba pevných paliv a další energetická odvětví                              |                |               |               |                             |
| Škodlivina   | Zdroj          | Palivo        | Emisní faktor | Jednotka                    |
| PM <sub>10</sub>   | Produkce koksu | Ostatní plyny | 0,000084      | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|  |                | Zemní plyn    | 0,000081      |                             |

Tabulka 19 Emisní faktory pro chemický průmysl, zdroj: naei.defra.gov.uk

| Emisní faktory pro PM <sub>10</sub> a těžké kovy z chemického průmyslu |           |              |               |                             |
|--|-----------|--------------|---------------|-----------------------------|
| 1. Chemický průmysl  |           |              |               |                             |
| Škodlivina   | Zdroj     | Palivo       | Emisní faktor | Jednotka                    |
| Arzen  | spalování | Plynový olej | 0,000035      | kt/Mt spotřebovaného paliva |
|  |           | Uhlí         | 0,00028       |                             |
|  |           | Topný olej   | 0,00017       |                             |
| Kadmium  | spalování | Plynový olej | 0,000028      |                             |
|  |           | Uhlí         | 0,000018      |                             |
|  |           | Topný olej   | 0,0003        |                             |
| Chrom  | spalování | Plynový olej | 0,000032      |                             |
|  |           | Uhlí         | 0,0001        |                             |
|  |           | Topný olej   | 0,00039       |                             |
| Měď  | spalování | Plynový olej | 0,00022       |                             |
|  |           | Uhlí         | 0,00017       |                             |
|  |           | Topný olej   | 0,00046       |                             |
| Nikl   | spalování | Plynový olej | 0,0016        |                             |
|  |           | Uhlí         | 0,00033       |                             |
|  |           | Topný olej   | 0,025         |                             |
| Cín  | spalování | Plynový olej | 0,0003        |                             |
|  |           | Uhlí         | 0,000064      |                             |
|  |           | Topný olej   | 0,00041       |                             |
| Selen  | spalování | Plynový olej | 0,00014       |                             |
|  |           | Uhlí         | 0,000038      |                             |
|  |           | Topný olej   | 0,00012       |                             |
| Zinek  | spalování | Plynový olej | 0,00023       |                             |
|  |           | Uhlí         | 0,0018        |                             |
|  |           | Topný olej   | 0,001         |                             |
| PM <sub>10</sub>   | spalování | Uhlí         | 0,98          |                             |
|  |           | Plynový olej | 0,32          |                             |
|  |           | Topný olej   | 0,9           |                             |

## 4.2 PM<sub>10</sub> a kovy pro lokální topeniště

Spalováním fosilních paliv v průmyslových zařízeních se zabývá celá řada tuzemských i zahraničních studií. Naprosto opačná situace je u spalování fosilních paliv (uhlí) v případě lokálních topenišť, kde podrobná studie naprosto chybí (*Ritz et al., 2003*).

Za předpokladu téměř stejného složení prachu a úměrnosti emisí prachu a těžkých kovů ze spalování by se dalo předpokládat, že emise těžkých kovů z lokálních topenišť dosahují úrovně okolo 40 % emisí těžkých kovů z průmyslových zdrojů (*Ritz et al., 2003; Svoboda et al., 1998*).

Bylo prokázáno, že hodnoty koncentrací částic PM<sub>10</sub> na venkově naměřené během topné sezóny jsou srovnatelné s hodnotami ve větších městech (*Domasová et al., 2002; Ritz et al., 2003*).

Problémem u lokálních topeništích je spalování nekvalitního uhlí a nezřídka i ve směsi s odpady. Dalším problémem je nízká výška kouřovodu (u rodinných domů okolo 10 m), což způsobuje transport prachových částic do dýchací zóny obyvatel (*Ritz et al., 2003*).

Spalování tuhých paliv v malých zdrojích pro potřebu vytápění domácností představuje v ČR významný zdroj znečištění (PM<sub>10</sub> – 35 %). Pro emisní bilanci je používáno emisních faktorů. Stanovení emisního faktoru pro malá spalovací zařízení (cca do 50 kW) je velmi komplikovaný proces, jelikož je ovlivněn mnoha parametry. Proto je stanovení emisního faktoru pro jednotlivá paliva značně problematické a výsledek může být zatížen velikou nejistotou (*Horák et al., 2009*).

Stanovení emisního faktoru TZL pro spalování tuhých paliv v malých zdrojích představuje specifickou metodickou oblast, jelikož je zapotřebí se vyrovnat s mnoha nestandardními podmínkami:

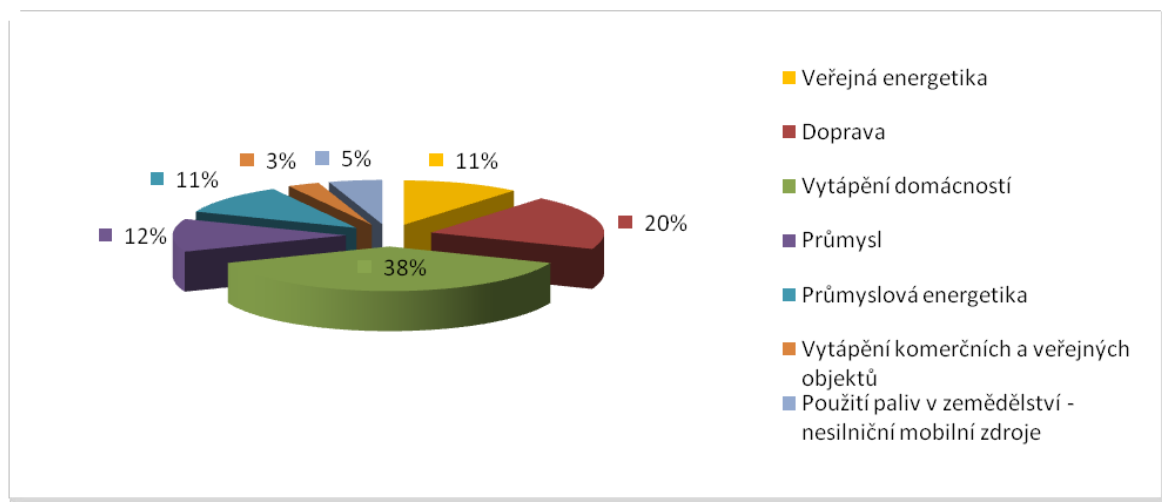
- většinou je používána periodická (přerušovaná) vsázka paliva,
- nestabilní tlakové poměry v komínu,
- proměnlivá spotřeba paliva, proměnlivé množství spalin a proměnlivá koncentrace znečišťujících látek během spalovací periody,
- nízká rychlost spalin v komínu pouze okolo 0,5 až 2 m/s,
- běžné provozní podmínky se výrazně liší od těch, při kterém jsou testy prováděny v laboratořích,
- různorodost typů spalovacích zařízení a druhů paliv (*Horák et al., 2009*).

## Porovnání stanovených emisních faktorů s emisními faktory používanými v ČR a doporučenými v EU

V současné době existují dvě sady dostupných emisních faktorů. První sadou jsou emisní faktory doporučované dle EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009 – Part B – 1. A. 4. Small Combustion a druhou sadou jsou v současnosti užívané emisní faktory pro bilance emisí v ČR (REZZO 3). Hodnoty jsou uvedeny v **Tabulce 20** (vztaženo na hmotnost paliva) a v **Tabulce 21** (vztaženo na výhřevnost paliva) (Horák et al., 2012; [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)).

V roce 2012 proběhl pod záštitou Ministerstva životního prostředí experiment, který věnoval pozornost emisním faktorům při spalování hnědého, černého uhlí a dřeva (biomasy). Experimenty byly koncipovány tak, aby jejich výsledky mohly být zpracovány pro návrh nových emisních faktorů (Horák et al., 2012).

Stanovené měrné emise, viz **Tabulka 20** a **21**, byly vyjádřeny jako vážené průměry, přičemž jako váha jsou použity odhady zastoupení lokálních spalovacích zařízení na tuhá paliva (**Obrázek 7**) (Horák et al., 2012; Koloničný et al., 2011; Machálek a Machart, 2003).



Obrázek 7 Odhad struktury používaných typů malých spalovacích zařízení pro spalování tuhých paliv v ČR

**Tabulka 20 Porovnání emisních faktorů vztahených na hmotnost paliva**, zdroj: Horák et al., 2012; Horák et al., 2009; Horák a Branc, 2009; Hon et al. 2005, Koloničný et al., 2011

| EF na palivo          | Hnědé uhlí tříděné |                     |           | Černé uhlí tříděné |                      |           | Biomasa     |            |           |
|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------|--------------------|----------------------|-----------|-------------|------------|-----------|
|                       | EEA                | Používané           | stanovené | EEA                | Používané            | stanovené | EEA         | používané  | stanovené |
| Tuhé emise<br>kg/t    | <b>7,99</b>        | <b>1,0*Ap (6,9)</b> | 22,8      | <b>11,3</b>        | <b>1,0*Ap (18,9)</b> | 8,11      | <b>10,7</b> | <b>5,2</b> | 1,37      |
| PM <sub>10</sub> kg/t | -                  | -                   | -         | -                  | -                    | -         | -           | -          | -         |
| Cd mg/t               | <b>27,0</b>        | <b>6</b>            | 6,41      | <b>38,2</b>        | <b>0,233</b>         | 6,36      | <b>20,4</b> | -          | 17,1      |
| Hg mg/t               | <b>91,7</b>        | <b>126</b>          | 52        | <b>130</b>         | <b>17,5</b>          | 25,4      | <b>7,3</b>  | -          | 2,09      |
| Pb mg/t               | <b>2,388</b>       | <b>277</b>          | 385       | <b>3308</b>        | <b>11,7</b>          | 732       | <b>584</b>  | -          | 164       |
| As mg/t               | <b>45,0</b>        | <b>171</b>          | 169       | <b>63,6</b>        | <b>5,65</b>          | 111       | <b>14,6</b> | -          | 30,3      |
| Cr mg/t               | <b>201</b>         | <b>37,9</b>         | 984       | <b>285</b>         | -                    | 365       | <b>42,3</b> | -          | 317       |
| Cu mg/t               | <b>401</b>         | <b>80,9</b>         | 163       | <b>568</b>         | <b>50,7</b>          | 169       | <b>126</b>  | -          | 104       |
| Ni mg/t               | <b>228</b>         | <b>33,8</b>         | 53,2      | <b>323</b>         | <b>36,2</b>          | 105       | <b>64,2</b> | -          | 56,6      |
| Se mg/t               | <b>18,0</b>        | <b>51,3</b>         | 40,8      | <b>25,4</b>        | <b>19,6</b>          | 231       | <b>7,3</b>  | -          | 18,5      |
| Zn mg/t               | <b>3957</b>        | <b>977</b>          | 1060      | <b>5599</b>        | <b>630</b>           | 1080      | <b>1898</b> | -          | 557       |
| Co mg/t               | -                  | -                   | 50,8      | -                  | -                    | 134       | -           | -          | 53,7      |
| Mn mg/t               | -                  | -                   | 115       | -                  | -                    | 592       | -           | -          | 430       |
| Sb mg/t               | -                  | -                   | 7,55      | -                  | -                    | 8,76      | -           | -          | 0,797     |
| Ti mg/t               | -                  | -                   | 7,77      | -                  | -                    | 8,18      | -           | -          | 1,71      |
| V mg/t                | -                  | -                   | 22,5      | -                  | -                    | 24,4      | -           | -          | 10,9      |

Pozn.: Ap ... obsah popela v původním vzorku paliva (% hm.)

**Tabulka 21 Porovnání emisních faktorů vztahených na výhřevnost paliva**, zdroj: Horák et al., 2012; Horák et al., 2009; Horák a Branc, 2009, [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)

| EF na příkon          | Hnědé uhlí tříděné |                         |           | Černé uhlí tříděné |                         |           | Biomasa    |            |           |
|-----------------------|--------------------|-------------------------|-----------|--------------------|-------------------------|-----------|------------|------------|-----------|
|                       | EEA                | Používané               | Stanovené | EEA                | Používané               | Stanovené | EEA        | používané  | Stanovené |
| Tuhé emise g/GJ       | <b>444</b>         | <b>1000*Ap/Qi (382)</b> | 1200      | <b>444</b>         | <b>1000*Ap/Qi (744)</b> | 249       | <b>730</b> | <b>356</b> | 87,2      |
| PM <sub>10</sub> g/GJ | <b>404</b>         | <b>290</b>              | -         | <b>404</b>         | <b>290</b>              | -         | <b>695</b> | <b>338</b> | -         |
| Cd mg/GJ              | <b>1,5</b>         | <b>0,3</b>              | 0,335     | <b>1,5</b>         | <b>0,009</b>            | 0,195     | <b>1,4</b> | -          | 1,1       |
| Hg mg/GJ              | <b>5,1</b>         | <b>7,0</b>              | 2,72      | <b>5,1</b>         | <b>0,7</b>              | 0,779     | <b>0,5</b> | -          | 0,135     |
| Pb mg/GJ              | <b>130</b>         | <b>15,4</b>             | 20        | <b>130</b>         | <b>0,5</b>              | 22,5      | <b>40</b>  | -          | 10,6      |
| As mg/GJ              | <b>2,5</b>         | <b>9,5</b>              | 8,78      | <b>2,5</b>         | <b>0,2</b>              | 3,41      | <b>1</b>   | -          | 1,99      |
| Cr mg/GJ              | <b>11,2</b>        | <b>2,1</b>              | 51,6      | <b>11,2</b>        | -                       | 11,2      | <b>2,9</b> | -          | 20,2      |
| Cu mg/GJ              | <b>22,3</b>        | <b>4,5</b>              | 8,47      | <b>22,3</b>        | <b>2,0</b>              | 5,18      | <b>8,6</b> | -          | 6,66      |
| Ni mg/GJ              | <b>12,7</b>        | <b>1,9</b>              | 2,77      | <b>12,7</b>        | <b>1,4</b>              | 3,24      | <b>4,4</b> | -          | 3,61      |
| Se mg/GJ              | <b>1</b>           | <b>2,9</b>              | 2,13      | <b>1</b>           | <b>0,8</b>              | 7,09      | <b>0,5</b> | -          | 1,19      |
| Zn mg/GJ              | <b>220</b>         | <b>54,3</b>             | 55,5      | <b>220</b>         | <b>24,8</b>             | 33,2      | <b>130</b> | -          | 36,1      |
| Co mg/GJ              | -                  | -                       | 2,66      | -                  | -                       | 4,12      | -          | -          | 3,43      |
| Mn mg/GJ              | -                  | -                       | 6,01      | -                  | -                       | 18,2      | -          | -          | 27,5      |
| Sb mg/GJ              | -                  | -                       | 0,387     | -                  | -                       | 0,269     | -          | -          | 0,0529    |
| Ti mg/GJ              | -                  | -                       | 0,404     | -                  | -                       | 0,251     | -          | -          | 0,111     |
| V mg/GJ               | -                  | -                       | 1,17      | -                  | -                       | 0,749     | -          | -          | 0,699     |

Pozn.: Ap ... obsah popela v původním vzorku paliva (% hm.)

Qi ... výhřevnost paliva MJ/kg

První sada (v **Tabulce 20 a 21 - EEA**) je podle EEA vztažena na výhřevnost paliva. Z důvodů vzájemného porovnání byl proveden přepočet těchto faktorů na hmotnost paliva pomocí průměrných vážených výhřevností paliv v ČR (hnědé uhlí 18; černé uhlí 25,4 a dřevo (biomasa) 14,6 MJ/kg). Druhá sada (v **Tabulce 20 a 21 - používané**) je podle ČHMÚ vztažena k hmotnosti paliva. Z důvodů vzájemného porovnání byl proveden přepočet faktorů na hodnotu tepla v palivu (přes stejnou výhřevnost paliv jako u první sady). Třetí sada (v **Tabulce 20 a 21 - stanovené**) jsou experimentálně stanovené emisní faktory, které jsou z jednoho vyjádření na druhé přepočítávány přes výhřevnosti spalovaných experimentálních paliv (Horák *et al.*, 2012; *old.chmi.cz*).

### 4.3 PM<sub>10</sub> a kovy pro dopravu

Způsobů, jak získat emisní faktory pro dopravu, je hned několik. Pro jejich výpočet může být použit program MEFA nebo databáze sdružující veškeré emisní faktory „National Atmospheric Emissions Inventory“ vycházející z Evropské agentury pro životní prostředí („European Environmental Agency“).

Emise z dopravy je možno vypočítat za použití jednotlivých emisních faktorů pro individuální motorová vozidla, které byly vydány Ministerstvem životního prostředí ČR. Pro výpočet emisních faktorů je možno použít program MEFA (Mobilní Emisní Faktory) verze 02. Použité výpočetní vztahy vycházejí z dostupných informací (rychlost jízdy, podélný sklon vozovky, stárnutí motorových vozidel, kategorie vozidla – osobní, lehké nákladní, těžké nákladní a autobusy, palivo). Během konstrukce modelu byla použita již získaná a ověřená emisní data vozidel z řady testů v zemích Evropské unie. Jako hlavní podklad byla použita databáze HBEFA („Handbook Emission Factors for Road Transport“) (Hon *et al.*, 2005; Hon *et al.*, 2000, *www.mzp.cz*).

Program sice není schopen postihnout emisní charakteristiku jednotlivých vozidel v plné šíři, poskytuje však průměrné hodnoty odpovídající vozovému parku České republiky a středoevropskému regionu (Hon *et al.*, 2005; Hon *et al.*, 2000).

Pomocí programu MEFA lze zjistit pouze emise vzniklé přímo v důsledku spalování paliva v motoru vozidla (částice přímo emitované z výfuků). Avšak v souvislosti s dopravou jsou do prostředí emitovány i další částice vznikající například otěrem pneumatik o povrch vozovky, opotřebením brzdového obložení (výzkum dle *Westerlund, a Johansson, 2002*



ukazuje, že opotřebení brzdového obložení způsobuje vznik částic vyznačující se vysokými koncentracemi Cr, Cu, Zn, Pb) nebo zvířením (resuspenzí) již deponovaného materiálu. *Resuspenze* jsou částice na povrchu vozovky, které jsou neustále zvířovány při průjezdu vozidel. Jelikož zde působí celá řada faktorů (např. počasí, vstupy z okolí silnice, chodníků, polí, přínos zeminy na pneumatikách vozidel a mnoho dalších), je stanovení emisního faktoru pro tento typ zdroje velice obtížné. Alespoň pro přibližnou bilanci může být použit postup stanoven organizací US EPA (US EPA AP – 42 method). Podíl resuspendovaných částic na celkových emisích tuhých částic z dopravy je velice významný a to zejména v případě částic s větším průměrem (PM). V případě částic menších než 10 µm již není příspěvek tak významný, ale i přesto převyšuje množství PM<sub>10</sub> emitovaných z výfuku (*Tsagatakis et al., 2010; Hasmin a Hasmin, 1995; Hon et al., 2005*).

Metodika výpočtu emisí PM (US EPA AP-42 method), hodnotící remise ze **zpevněných silnic** je následující:

$$E = k \left( \frac{sL}{2} \right)^{0,65} * \left( \frac{W}{3} \right)^{1,5} - C$$

Kde:

E ... emisní faktor (g/vozidlo/km)

k ... konstanta závislá na velikostní frakci, pro kterou je emisní faktor počítán (g/vozidlo/km)

sL ... množství usazeného prachu (< 75 µm) (g/m<sup>2</sup>)

W ... průměrná hmotnost vozidla (t)

C ... emisní faktor pro emise z výfuků automobilů a otěr pneumatik a vozovky (*Hon et al., 2005*).

Parametry *k*, *sL* a *C* mohou být přejaty z metodiky, nicméně pro přesnější výpočet je doporučeno provést měření množství usazeného prachu na silnicích v konkrétních podmínkách (AP- 42 příloha C.1 a C2.). Průměrná hmotnost vozidla bývá stanovena na základě znalosti o průjezdech jednotlivých kategorií vozidel danou oblastí (ŘSD 2010, SSOK 2005) (*Hon et al., 2005*).

Metodika výpočtu emisí PM (**US EPA AP-42 method**), hodnotící remise z **nezpevněných silnic** je následující:

$$E = k \left( 1.7 \left( \frac{s}{12} \right) \left( \frac{S}{48} \right) \left( \frac{W}{2.7} \right)^{0.5} \left( \frac{365 - P}{365} \right) \right) (kg/VKT)$$

Kde:

E ... emisní faktor (g/vozidlo/km)

k ... konstanta závislá na velikostní frakci, pro kterou je emisní faktor počítán (g/vozidlo/km), pro PM<sub>10</sub> – 0,36

s ... množství usazeného prachu (g/m<sup>2</sup>)

S ... průměrná rychlost vozidla (km/h)

W ... průměrná hmotnost vozidla (t)

P ... počet "mokrých" dní s nejméně 0,254 mm srážek během průměrovaného období (*US EPA 1998 (AP-42)*)

Jak již bylo zmíněno faktory spotřeby paliva a emisní faktory v kombinaci s provozními údaji pro třídy vozidel (osobní automobily, lehké nákladní automobily, těžké nákladní vozidla, kloubové nákladní vozidla, autobusy a motocykly) jsou používány k emisím odhadům. Databáze obsahující veškeré emisní faktory pro jednotlivé třídy vozidel se nazývá „**National Atmospheric Emissions Inventory**“. V databázi jsou stanoveny emisní faktory pro jednotlivé znečišťující látky, typy vozidel i druh provozu (město, venkov, dálnice). Také se zde nacházejí emisní faktory pro opotřebení pneumatik, brzdových destiček a samotných silnic viz **Tabulka 22** a **23** (*Tsagatakis et al, 2010*).

**Tabulka 22** Emisní faktory PM<sub>10</sub> – silniční doprava, zdroj: naei.defra.gov.uk, www.eea.europa.eu

| Emisní faktory pro PM <sub>10</sub> – silniční doprava[g/km] |               |                  |       |                      |                               |               |
|--|---------------|------------------|-------|----------------------|-------------------------------|---------------|
| Typ vozidla  | Studený start | Provozní teplota |       | Opotřebení pneumatik | Opotřebení brzdových destiček | Silniční oděr |
| O.A. benzín  | 0,003         | Město            | 0,002 | 0,007                | 0,007                         | 0,007         |
|  |               | Venkov           | 0,003 |                      |                               |               |
|  |               | Dálnice          | 0,004 |                      |                               |               |
| O.A. diesel  | 0,030         | Město            | 0,020 |                      |                               |               |
|  |               | Venkov           | 0,021 |                      |                               |               |
|  |               | Dálnice          | 0,023 |                      |                               |               |
| L.N.A. benzín  | 0,002         | Město            | 0,002 | 0,012                | 0,011                         | 0,007         |
|  |               | Venkov           | 0,002 |                      |                               |               |
|  |               | Dálnice          | 0,003 |                      |                               |               |
| L.N.A diesel   | 0,054         | Město            | 0,038 |                      |                               |               |
|  |               | Venkov           | 0,040 |                      |                               |               |
|  |               | Dálnice          | 0,052 |                      |                               |               |

| Emisní faktory pro PM <sub>10</sub> – silniční doprava[g/km] |               |                  |       |                      |                               |               |
|--|---------------|------------------|-------|----------------------|-------------------------------|---------------|
| Typ vozidla  | Studený start | Provozní teplota |       | Opotřebení pneumatik | Opotřebení brzdových destiček | Silniční oděr |
| T.N.A. 1   | 0,072         | Město            | 0,093 | 0,017                | 0,027                         | 0,038         |
|  |               | Venkov           | 0,065 |                      |                               |               |
|  |               | Dálnice          | 0,066 |                      |                               |               |
| T.N.A. 2   | 0,072         | Město            | 0,1   | 0,035                | 0,018                         | 0,038         |
|  |               | Venkov           | 0,070 |                      |                               |               |
|  |               | Dálnice          | 0,070 |                      |                               |               |
| Autobusy   | 0,085         | Město            | 0,100 | 0,019                | 0,042                         | 0,038         |
|  |               | Venkov           | 0,058 |                      |                               |               |
|  |               | Dálnice          | 0,066 |                      |                               |               |
| Motocykly  | 0,015         | Město            | 0,017 | 0,003                | 0,004                         | 0,003         |
|  |               | Venkov           | 0,012 |                      |                               |               |
|  |               | Dálnice          | 0,012 |                      |                               |               |

Pozn. : O.A. – osobní automobily, L.N.A. - lehké nákladní automobily, T.N.A. 1 - těžké nákladní vozidla, T.N.A. 2 - kloubové nákladní vozidla

**Tabulka 23 Emisní faktory těžké kovy – silniční doprava**, zdroj: [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)

| Emisní faktory těžké kovy – silniční doprava [μg/kg paliva] |      |      |      |      |     |     |      |     |      |
|---|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|------|
| Kategorie   | As   | Cd   | Cr   | Cu   | Hg  | Ni  | Pb   | Se  | Zn   |
| O.A. – benzín   | 0,30 | 10,8 | 16,0 | 42,0 | 8,7 | 13, | 33,2 | 0,2 | 2163 |
| O.A. – diesel   | 0,10 | 8,7  | 30,0 | 21,2 | 5,3 | 8,8 | 52,1 | 0,1 | 1738 |
| L.N.A. – benzín   | 0,30 | 10,8 | 16,0 | 42,0 | 8,7 | 13, | 33,2 | 0,2 | 2163 |
| L.N.A. – diesel   | 0,10 | 8,7  | 30,0 | 21,2 | 5,3 | 8,8 | 52,1 | 0,1 | 1738 |
| T.N.A. – benzín   | 0,30 | 10,8 | 16,0 | 42,0 | 8,7 | 13, | 33,2 | 0,2 | 2163 |
| T.N.A. – diesel   | 0,10 | 8,7  | 30,0 | 21,2 | 5,3 | 8,8 | 52,1 | 0,1 | 1738 |
| Motocykly   | 0,30 | 10,8 | 16,0 | 42,0 | 8,7 | 13, | 33,2 | 0,2 | 2163 |

Pozn. : O.A. – osobní automobily, L.N.A. - lehké nákladní automobily, T.N.A. - těžké nákladní vozidla.

Tyto emisní faktory zahrnují kombinované emise paliva, mazacích olejů a opotřebení motoru.

## 5. Odhad produkce imisní zátěže v oblasti MSK

Oblast Moravskoslezského kraje je nejvíce znečištěným místem v ČR a v rámci Evropy patří k nadprůměrně zatíženým oblastem. Nejhorší situace je pak na Ostravsko – Karvinsku, což je zapříčiněno velkou hustotou osídlení, a také obrovskou koncentrací průmyslu. Opakovaně jsou zde překračovány jak krátkodobé, tak dlouhodobé imisní limity pro  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  a jiné látky znečišťující ovzduší. V poslední době dochází také k překročení imisního limitu pro arsen (lokality Ostrava – Radvanice a Mariánské Hory) (Ostatnická, 2012).

Proto se tato kapitola zabývá odhadem emisí potenciálně vyprodukovaných (bez použití odlučovacích zařízení) nejvýznamnějšími podniky na území Moravskoslezského kraje. Mezi které patří Třinecké železárny a ArcelorMittal Ostrava.

Pro odhad emisí (emisní bilanci) mohou být využívány hodnoty emisních faktorů za použití tohoto vzorce:

$$E_{ZL} = AR_{SP} * EF_{ZL}$$

Kde:

$E_{ZL}$  ... emise zadaného znečišťující látky,

$AR_{SP}$  ... míra aktivity pro spotřebu paliva,

$EF_{ZL}$  ... emisní faktor pro zadanou znečišťující látku (Tsagatakis et al., 2010, [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)).

Pro výpočet emisní bilance lze také použít rovnici rozšířenou o hodnotu ER:

$$E = A * EF * (1 - ER / 100)$$

Kde:

$E$  ... emise zadaného znečišťující látky,

$A$  ... aktivita závodu pro spotřebu paliva;

$EF$  ... emisní faktor pro zadanou znečišťující látku,

$ER$  ... účinnost celkové redukce emisí v % ([www.esho.com](http://www.esho.com)).

### 5.1 Třinecké Železárny a.s.

Třinecké Železárny patří k průmyslovým podnikům s nejdelší tradicí hutní výroby na území České republiky. Dnes představují hutní podnik s uzavřeným hutním výrobním

cyklem, jejichž hlavní výrobní program tvoří dlouhé válcované výrobky (Dodek, 2008; [www.trz.cz](http://www.trz.cz))

Součástí skupiny Třinecké Železářny – Moravia Steel jsou další společnosti, jako Energetika Třinec, a.s., Strojírny Třinec, a.s., Slévárny Třinec, a.s., Refrasil, s.r.o., Řetězárna, a.s., Sochorová válcovna TŽ, a.s., Ferromoravia, s.r.o. a Vítkovice Válcovna trub a.s. (Dodek, 2008; [www.trz.cz](http://www.trz.cz))

### 5.1.1 Vyprodukované emise

Společnost Třineckých železáren částečně **koks** vyrábí samostatně (a to jednu třetinu, což představuje za rok 2012 cca **685 300 tun** (z 1 t uhlí je vyrobeno 0,75 t koksu)). A dvě třetiny koksu jsou dováženy (1370600 tun/rok). Do společnosti je rovněž dovážen tzv. mletý koks, jež se spotřebovává během výroby aglomerátu. Na výrobu jedné tuny aglomerátu je spotřebováno 52 kg mletého koksu. Tohoto **aglomerátu** bylo v roce 2012 vyrobeno celkem **2 500 000 tun** (Banáš, 2013).

Za rok 2012 Třinecké železářny ve vysokých pecích vyrobily celkem **2 005 000 tun surového železa** (na 1 t surového železa připadá 490 kg koksu) (Banáš, 2013).

V **Tabulce 24** se nacházejí emisní faktory, které byly použity pro výpočet vyprodukovaných emisí daným podnikem.

**Tabulka 24** Emisní faktory jednotlivých škodlivin použité pro výpočet emisí produkovaných podnikem Třinecké železářny a.s, zdroj: [naei.defra.gov.uk](http://naei.defra.gov.uk)

| Emisní faktory jednotlivých škodlivin pro výrobu železa ve vysokých pecích |           |                            |
|--|-----------|----------------------------|
| Arzen  | 0,00008   | kt/Mt vyrobeného materiálu |
| Kadmium  | 0,000016  |                            |
| Chrom  | 0,00008   |                            |
| Měď  | 0,00040   |                            |
| Nikl   | 0,00012   |                            |
| Selen  | 0,000013  |                            |
| Zinek  | 0,0040    |                            |
| PM <sub>10</sub>   | 0,055     |                            |
| Emisní faktory jednotlivých škodlivin pro výrobu aglomerátu                |           |                            |
| Arzén  | 0,0000077 | kt/Mt vyrobeného materiálu |
| Kadmium  | 0,000029  |                            |
| Chróom   | 0,000063  |                            |
| Měď  | 0,00013   |                            |
| Nikl   | 0,0000091 |                            |
| Selen  | 0,00013   |                            |
| Zinek  | 0,00017   |                            |
| PM <sub>10</sub>   | 0,16      |                            |

| Emisní faktory jednotlivých škodlivin pro produkci koksu |           |                             |
|--|-----------|-----------------------------|
| <i>Arzen</i>   | 0,0000079 | kt/Mt spotřebovaného paliva |
| <i>Kadmium</i>   | 0,0000059 |                             |
| <i>Chróom</i>  | 0,00035   |                             |
| <i>Měď</i>   | 0,000046  |                             |
| <i>Nikl</i>  | 0,0002    |                             |
| <i>Cín</i>   | 0,000064  |                             |
| <i>Zinek</i>   | 0,00054   |                             |
| <i>PM<sub>10</sub></i>                                   | 0,12      |                             |

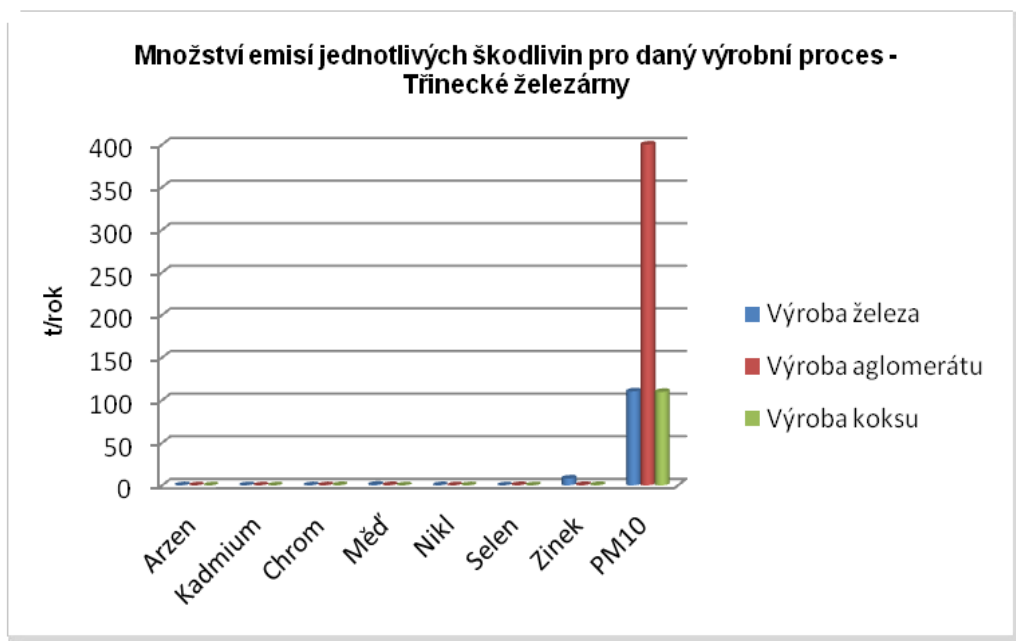
Pro zjednodušení výpočtu množství emisí je aplikován výpočetní vztah, v němž není vzato v potaz použití odlučovacího zařízení:

$$E_{ZL} = AR_{SP} * EF_{ZL}$$

**Tabulka 25 Vypočtené hodnoty emisí jednotlivých škodlivin podle základního vzorce**

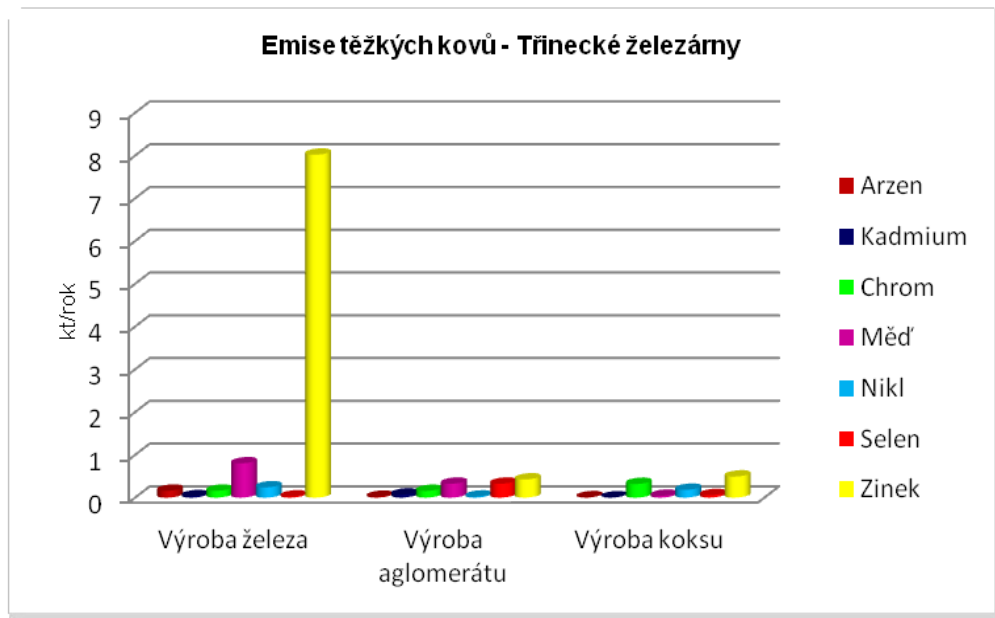
| Množství emisí jednotlivých škodlivin pro daný výrobní proces |               |                   |              |               |
|---|---------------|-------------------|--------------|---------------|
| Emise [t/rok]   |               |                   |              |               |
|   | Výroba železa | Výroba aglomerátu | Výroba koksu | Celkové emise |
| <i>Arzen</i>  | 0,1604        | 0,01925           | 0,007218493  | 0,186868      |
| <i>Kadmium</i>  | 0,03208       | 0,0725            | 0,005391027  | 0,109971      |
| <i>Chrom</i>  | 0,1604        | 0,1575            | 0,319806667  | 0,637707      |
| <i>Měď</i>  | 0,802         | 0,325             | 0,042031733  | 1,169032      |
| <i>Nikl</i>   | 0,2406        | 0,02275           | 0,182746667  | 0,446097      |
| <i>Selen</i>  | 0,026065      | 0,325             | 0,058478933  | 0,409544      |
| <i>Zinek</i>  | 8,02          | 0,425             | 0,493416     | 8,938416      |
| <i>PM<sub>10</sub></i>  | 110,275       | 400               | 109,648      | 619,923       |

V **Tabulce 25** jsou vypočteny emise těžkých kovů a PM<sub>10</sub>, které jsou produkovány podnikem během výroby železa, aglomerátu a koksu bez použití odlučovacích zařízení. Zjištěné hodnoty jsou orientační. K jejich kalkulaci bylo použito jednoduchého matematického výpočtu viz výše s použitím emisních faktorů stanovených „National Atmospheric Emissions Inventory“ a informací o množství vyrobeného produktu nebo spotřebovaného paliva na jeho výrobu. Zjištěné množství jednotlivých emisí je vztaženo k roku 2012.



Obrázek 8 Množství emisí škodlivin pro daný výrobní proces – Třinecké železářny

Z **Obrázku 8** jednoznačně plyne, že množství těžkých kovů je v porovnání s množstvím  $PM_{10}$  nesrovnatelně nižší. Nejvíce  $PM_{10}$  je do prostředí emitováno během výroby aglomerátu a to téměř čtyřnásobně. Množství  $PM_{10}$  u výroby koksu a železa je srovnatelné.



Obrázek 9 Emise těžkých kovů produkované podnikem Třinecké železářny během výroby jednotlivých produktů

Na **Obrázku 9** je znázorněno množství jednotlivých těžkých kovů potenciálně vzniklých během výroby železa, aglomerátu a koksu. Nejproblematictější, co do množství, se jeví

zinek. Jehož největší množství vzniká během výroby železa, množství vzniklého zinku během ostatních výrobních procesů je již významně nižší. Množství ostatních kovů je během zmíněných výrobních procesů srovnatelné. Až na mírně větší produkci mědi, jež je produkována opět při výrobě železa. Naproti tomu během výroby koksu dochází k mírně vyšší emitaci chromu než u ostatních výrobních procesů.

## 5.2 ArcelorMittal Ostrava a.s.

**ArcelorMittal Ostrava a.s.** je největší hutní komplex v České republice patřící do největší světové ocelářské a těžařské skupiny ArcelorMittal ([www.arcelormittal.com](http://www.arcelormittal.com)). Výrobní činnost společnosti je především zaměřena na výrobu a zpracování surového železa, oceli a hutní druhovýrobu (Dodek, 2008).

### 5.2.1 Vyprodukované emise

Společnost disponuje čtyřmi vysokými pecemi. V současné době je pro naplnění potřeb zákazníků dostatečný provoz dvou pecí s roční kapacitou přes **2 milióny tun surového železa** (*Vedlejší produkty výrobní program, 2012*). Roční kapacita výroby společnosti je **3 miliony tun oceli** ([www.arcelormittal.com](http://www.arcelormittal.com)).

Na koksárenských bateriích s pěchovaným provozem a na velkoprostorové baterii je možno sytným provozem dosáhnout produkce až **1,2 mil tun koksu ročně** (z 1 tuny uhlí je vyrobeno cca 0,78 tun koksu). Tento koks se používá pro metalurgické procesy při výrobě surového železa a na otop (Šokala, 2013; *Vedlejší produkty výrobní program, 2012*; [www.arcelormittal.com](http://www.arcelormittal.com)).

V **Tabulce 24** se nacházejí emisní faktory, které byly použity pro výpočet vyprodukovaných emisí daným podnikem během maximální produkce.

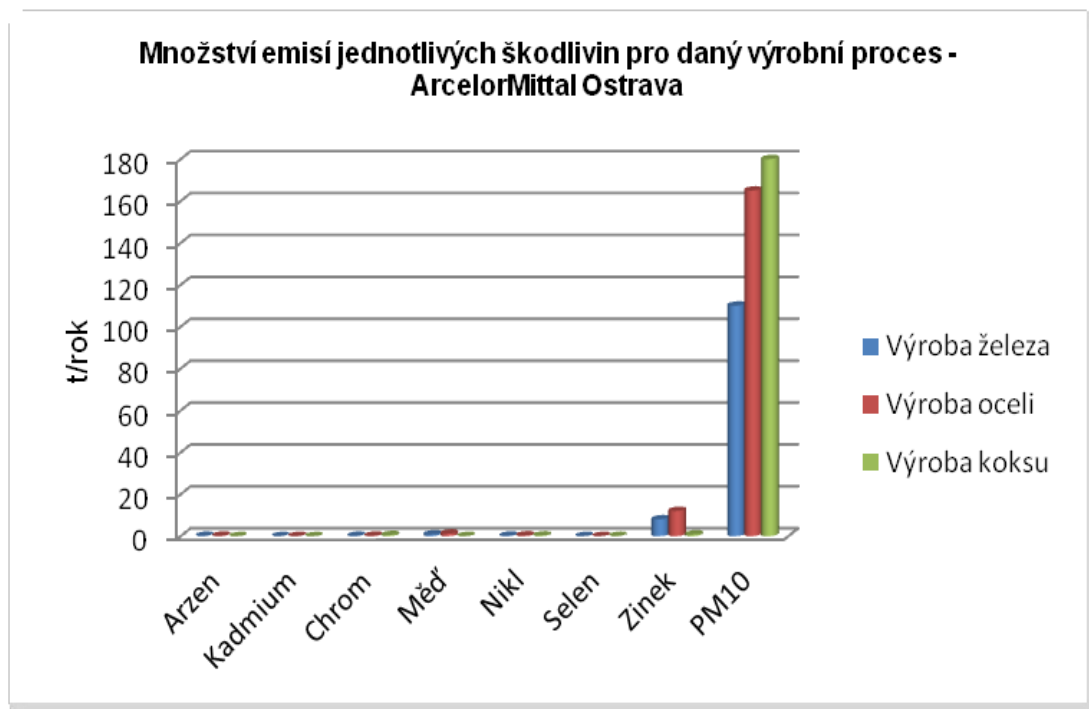
Pro zjednodušení výpočtu množství emisí je aplikován výpočetní vztah (viz výše), v němž není vzato v potaz použití odlučovacího zařízení.



**Tabulka 26 Vypočtené hodnoty emisí jednotlivých škodlivin podle základního vzorce**

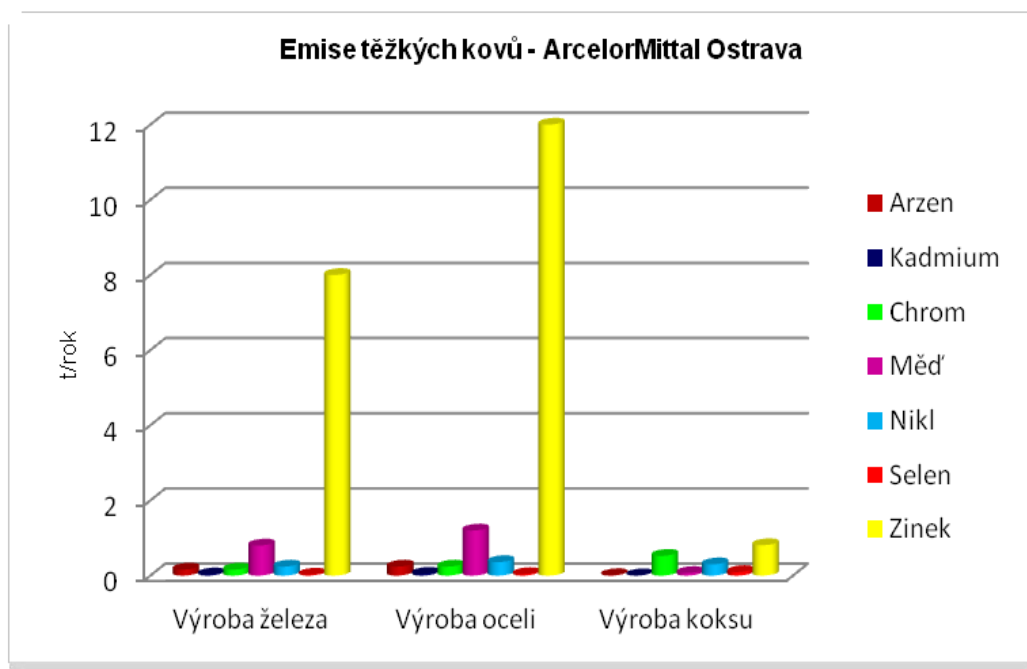
| Množství emisí jednotlivých škodlivin pro daný výrobní proces |               |              |              |               |
|---|---------------|--------------|--------------|---------------|
| Emise [t/rok]   |               |              |              |               |
|   | Výroba železa | Výroba oceli | Výroba koksu | Celkové emise |
| <i>Arsen</i>  | 0,16          | 0,24         | 0,01185      | 0,41185       |
| <i>Kadmium</i>  | 0,032         | 0,048        | 0,00885      | 0,08885       |
| <i>Chrom</i>  | 0,16          | 0,24         | 0,525        | 0,925         |
| <i>Měď</i>  | 0,8           | 1,2          | 0,069        | 2,069         |
| <i>Nikl</i>   | 0,24          | 0,36         | 0,3          | 0,9           |
| <i>Selen</i>  | 0,026         | 0,039        | 0,096        | 0,161         |
| <i>Zinek</i>  | 8             | 12           | 0,81         | 20,81         |
| <i>PM<sub>10</sub></i>  | 110           | 165          | 180          | 455           |

V **Tabulce 26** jsou vypočteny emise PM<sub>10</sub> a těžkých kovů produkovaných podnikem během výroby železa, oceli a koksu za jeden kalendářní rok při maximální výrobě bez použití odlučovacích zařízení. Ke zjištění těchto hodnot bylo použito jednoduchého matematického výpočtu viz výše s použitím emisních faktorů stanovených „National Atmospheric Emissions Inventory“ a informací o množství vyrobeného produktu či spotřebovaného paliva na výrobu.

**Obrázek 10 Množství emisí škodlivin pro daný výrobní proces – ArcelorMittal Ostrava**

Z **Obrázku 10** opět jednoznačně plyne, že množství těžkých kovů je ve srovnání s množstvím PM<sub>10</sub> podstatně nižší. Nejvíce PM<sub>10</sub> je do prostředí emitováno během

výroby koksu, ve srovnání s výrobou oceli je to o cca 9 % více a výrobou železa o cca 39 %.



**Obrázek 11** Emise těžkých kovů produkované podnikem ArcelorMittal Ostrava během výroby jednotlivých produktů

Na **Obrázku 11** je znázorněno zastoupení jednotlivých vyprodukovaných těžkých kovů během výroby železa, oceli a koksu. Opět se jako nejproblematictější jeví kov zinek a jeho produkce během výroby oceli a železa. Hojnější zastoupení vykazuje i měď během výroby železa a oceli, či chrom během výroby koksu.

### 5.3 Srovnání vyprodukovaných emisí podniky Třinecké železářny a ArcelorMittal Ostrava

Obě společnosti patří k největším hutním komplexům na území České republiky je v nich soustředěna téměř veškerá hutní výroba na našem území. Oba podniky se zabývají výrobou koksu, ať už pro svou vlastní potřebu, či jako prodejní výrobek a také výrobou surového železa.

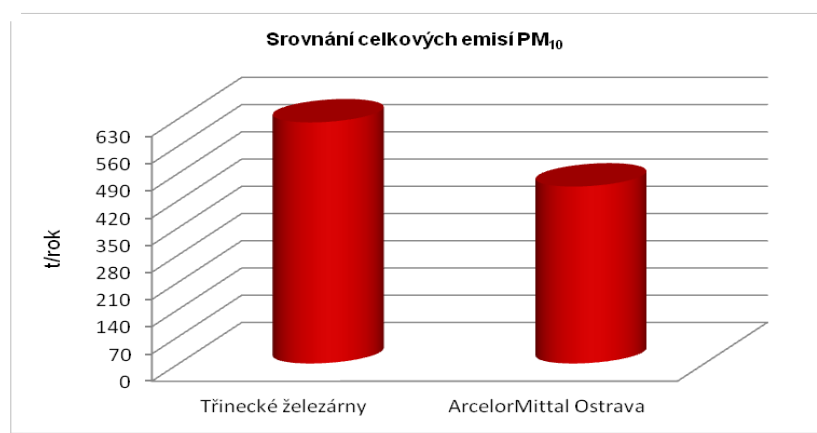
**Tabulka 27 Srovnání celkových emisí Třineckých železáren a ArcelorMittalu Ostrava**

| Srovnání celkových emisí [t/rok] |                    |                       |
|----------------------------------|--------------------|-----------------------|
|                                  | Třinecké železářny | ArcelorMittal Ostrava |
| <i>Arzen</i>                     | 0,187              | 0,412                 |
| <i>Kadmium</i>                   | 0,110              | 0,089                 |
| <i>Chrom</i>                     | 0,638              | 0,925                 |
| <i>Měď</i>                       | 1,169              | 2,069                 |
| <i>Nikl</i>                      | 0,446              | 0,9                   |
| <i>Selen</i>                     | 0,410              | 0,161                 |
| <i>Zinek</i>                     | 8,938              | 20,81                 |
| <i>PM<sub>10</sub></i>           | 619,923            | 455                   |

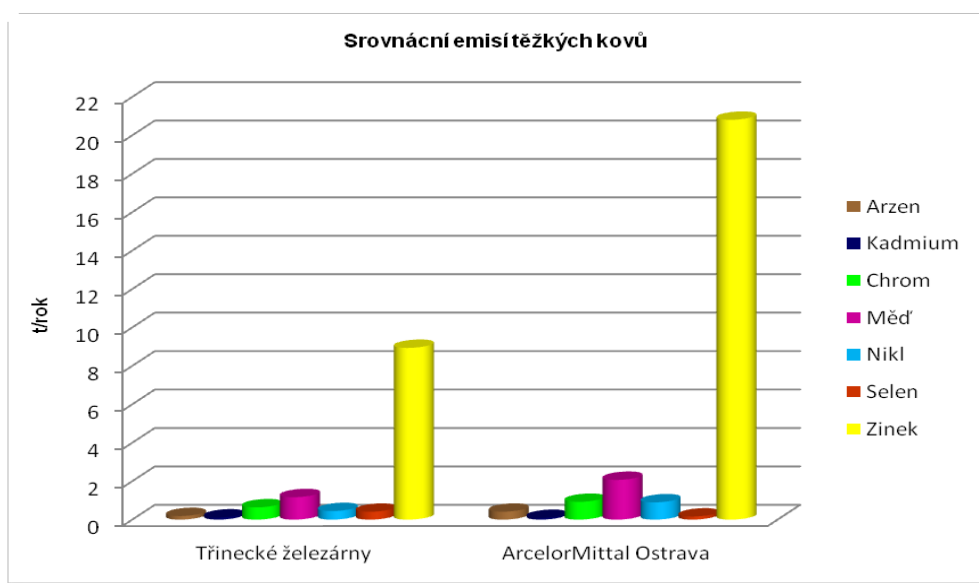
Z **Tabulky 27, Obrázku 12, 13 a 14** vyplývá, že množství vyprodukovaných emisí u obou podniků se značně liší. Je to dáno odlišnou skladbou výrobních procesů, zatím co ArcelorMittal se spíše soustředí na výrobu surového železa a oceli (cca 5 milionů tun ročně), množství vyrobeného železa v Třineckých železárnách se ročně pohybuje pouze okolo 2 milionů tun. Během výroby železa a oceli dochází k emitaci vyššího množství zinku, což se projevuje zvýšeným množstvím vyprodukovaného zinku v ArcelorMittalu Ostrava. I u dalších těžkých kovů jako jsou arzen, chrom, měď a nikl je množství vyprodukovaných emisí vyšší u podniku ArcelorMittal Ostrava než u Třineckých železáren. Lze tedy usuzovat, že během výroby železa a oceli je podíl těchto emitovaných těžkých kovů vysoký. U kovů jako je kadmium a selen je větší množství produkováno společností Třinecké železářny, což může souviset s výrobou aglomerátu. V roce 2011 společnost ArcelorMittal Ostrava instalovala na aglomeraci Sever odprašovací zařízení. Jednalo se o tkaninové filtry s deklarovanou účinností 99,9 % pro prachové částice (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1</sub>), což významně snížilo množství produkových emisí (270 tun/rok). I množství emisí PM<sub>10</sub> je odlišné. Podnik Třinecké železářny produkuje téměř o 27 % více prachových částic než ArcelorMittal Ostrava, což opět z největší pravděpodobnosti souvisí s výrobou aglomerátu v Třineckých železárnách, neboť co se týká koksu je produkce Třineckých železáren téměř o 40 % nižší než u ArcelorMittalu Ostrava.



Obrázek 12 Srovnání množství vyprodukovaných emisí



Obrázek 13 Srovnání celkových emisí PM<sub>10</sub>



Obrázek 14 Srovnání množství emisí těžkých kovů

## 6. Fázová chemická a mineralogická analýza

V současné době existuje několik metod pro chemickou analýzu jednotlivých nanočástic. Samotnou analýzu lze provádět dvěma způsoby a to buď offline nebo online (*Bzdek et. al., 2012*).

U metod offline dochází ke shromažďování aerosolu na filtru nebo mřížce a poté je zkoumána morfologie a složení jednotlivých nanočástic. Výhodou této metody je určení strukturních informací (krystalografická struktura, obsah těžkých kovů). Naopak mezi nevýhody patří například zpoždění analýzy vzorků. Nejběžněji používanou metodou je transmisní elektronová mikroskopie (TEM), ve spojení s energetickou disperzní rentgenovou spektroskopií (EDS) s cílem poskytnout jak morfologické tak chemické informace o částicích (*Bzdek et. al., 2012*).

I online metod pro analýzu submikroskopických částic byla vyvinuta celá škála. Avšak charakterizace nanočástic je touto metodou problematictější, jelikož je omezeno množství zkoumaného materiálu a intenzita měření signálu je nízká. V současnosti existuje několik nástrojů, které jsou schopny zkoumat složení velmi jemných částic. Všechny tyto přístroje patří mezi hmotnostní spektrometry (např. RSMS, UF-ATOFMS, SPLAT, Nams). Mezi hlavní výhody těchto online metod patří získávání informací v reálném čase a schopnost získat velké, statisticky významné soubory dat (*Bzdek et. al., 2012*).

Kovy a jiné částice mohou být velice dobře charakterizovány pomocí celé řady online a offline metod. Například metody UF-ATOFMS, RSMS, a TEM-EDS jsou schopny identifikovat kovy v jednotlivých nanočásticích. Některé z nejčastěji pozorovaných kovů v ultrajemném aerosolu jsou Na, Ca, K, Al, Fe, Pb, Ni, Cr, Ti, V a Mn. Nicméně i jiné kovy se mohou nacházet v jemném aerosolu (např. uran) (*Bzdek et. al., 2012*).

Chemická charakteristika submikroskopických částic je náročná analytická metoda avšak s významným potenciálem pro budoucí výzkum. V současné době je kombinace offline a online přístupů nezbytná k získání detailních informací o morfologickém a chemickém složení jednotlivých nanočástic (*Bzdek et. al., 2012*).

## **Fázová chemická analýza částic**

Fázová analýza částic musí být aplikována pro optimální výběr morfologicko-chemických charakteristik k určení zdroje znečištění. Jelikož pouhé chemické složení PM<sub>10</sub> je nedostačující, jelikož široká škála prvků má společné zdroje výskytu a jejich zdroj lze určit jen na základě fázového rozlišení (*Raclavský a Obal, 2012*).

Pro fázovou identifikaci částic byla navržena metoda elektronové mikroskopie (SEM), doplněna o dva druhy analyzátorů WDX (vlnově disperzní analyzátor) a EDX (energievě disperzní analyzátor). Při sledování chemického složení bývá použito metody RTG-fluorescenční analýzy nebo mikrovlnného rozkladu částic s následným stanovením pomocí ICP. Pokud je pro odběr vzorků použito filtrů křemíkových, tetlonových a typu MCE (směs nitrátu celulosy a acetátu celulosy) dochází k zachytu částic hluboko ve filtru. Tudíž jsou tyto filtry pro analýzu SEM/EDX nevhodné. Za nejvhodnější druh filtrů lze pro tuto metodu stanovení považovat polykarbonátové filtry Nuclepore (velikost pórů od 0.01 μm do 20 μm). Z hlediska odběru emisí je nedostatečná i teplotní stabilita křemíkových filtrů (cca do 120 °C), avšak tento nedostatek lze řešit pomocí redepozice částic, kterou ve své publikaci popisuje Casuccio et. Al. (r. 2002). Dalším problémem vhodného výběru filtru je množství zachycených částic na filtračním materiálu. U vysoké koncentrace částic může docházet k překryvu částic a vytváření konglomerátů, které znemožňují identifikovat prvkové složení částic (*Raclavský a Obal, 2012*).

## **Mineralogická fázová analýza částic**

Další metodou fázové analýzy je identifikace mineralogických fází pomocí RTG-difrakcí. I u této metody se největším problémem jeví množství zachycených částic na filtračním materiálu. Problém je však opačného rázu. Optimální je vytvoření vrstvy s maximální tloušťkou a překrytí filtru, jehož amorfni charakter znemožňuje identifikovat linie minerálů (*Raclavský a Obal, 2012*).

### **6.1 Odběrové zařízení pro fázovou analýzu**

Existuje široká škála přístrojů, které mohou být použity pro fázovou chemickou mineralogickou analýzu. V této kapitole jsou vedeny jen některé, jako Vzorkovač nanometrických aerosolu Model 3089, elektrostatický odlučovač Model 5.561 a další.

### 6.1.1 Vzorkovač nanometrických aerosolů (NAS) Model 3089

Přístroj umožňuje detekci částic o velikosti od 2 do 100 nm a to na TEM rošty, AFM substráty, nebo skleněné diapositivy (*Dixkens a Fissan, 1999, Nanometer Aerosol Sampler, Model 3089, 2004*).

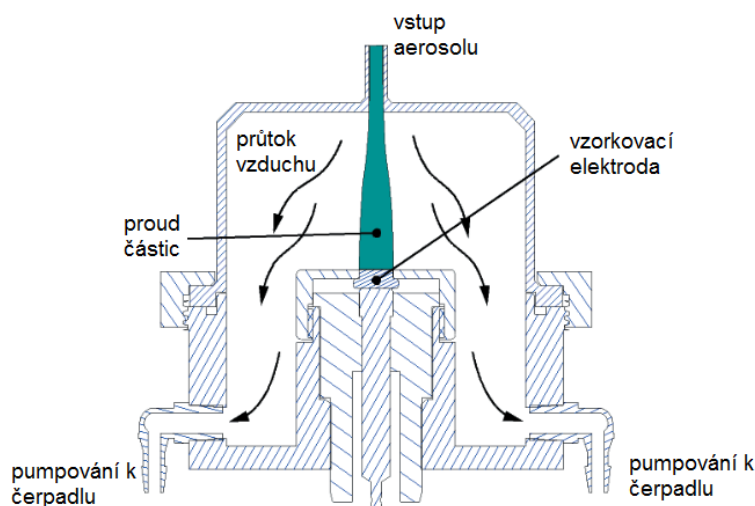
Úspěšné použití elektrostatické srážecí metody bylo dokumentováno v mnoha publikacích. NAS poskytuje pohodlný způsob odběru vzorků aerosolů pomocí dvou velikostí elektrod, řízení toku, a napětí. Mezi známé aplikace tohoto přístroje patří:

- odběr vzorků pro elektronovou mikroskopii (SEM/TEM),
- odběr vzorků pro skenovací mikroskopie (AFM/STM),
- vzorkování znečištěného ovzduší (*Dixkens a Fissan, 1999, Nanometer Aerosol Sampler, Model 3089, 2004*).



**Obrázek 15** Vzorkovač nanometrických aerosolů Model 3089, zdroj: Nanometer Aerosol Sampler, Model 3089, 2004

Na **Obrázku 16** je znázorněno schéma Vzorkovače nanometrických aerosolů Model 3089. Aerosol po vstupu do přístroje proudí směrem k vzorkovací elektrodě s pevným napětím uvnitř vzorkovače. Elektrickým proudem dojde k zaměření nabitých částic. A následně může být přístroj připraven pro další analýzu. NAS je přístroj přímo určený k vzorkování částic pro elektronovou mikroskopii (*Dixkens a Fissan, 1999, Nanometer Aerosol Sampler, Model 3089, 2004*).



**Obrázek 16 Schéma Vzorkovače nanometrických aerosolů Model 3089**, zdroj: Nanometer Aerosol Sampler, Model 3089, 2004

### 6.1.2 Elektrostatický odlučovač Model 5.561 – Vzorkovač nanočástic

Tento odlučovač slouží ke sběru nanometrických a mikroskopických aerosolů pomocí elektrostatického srážení. Získané vzorky mohou být následně použity pro offline analýzy (zjištění tvaru částic, morfologie a složení) (*Electrostatic Precipitator, Model 5.561, 2012*).

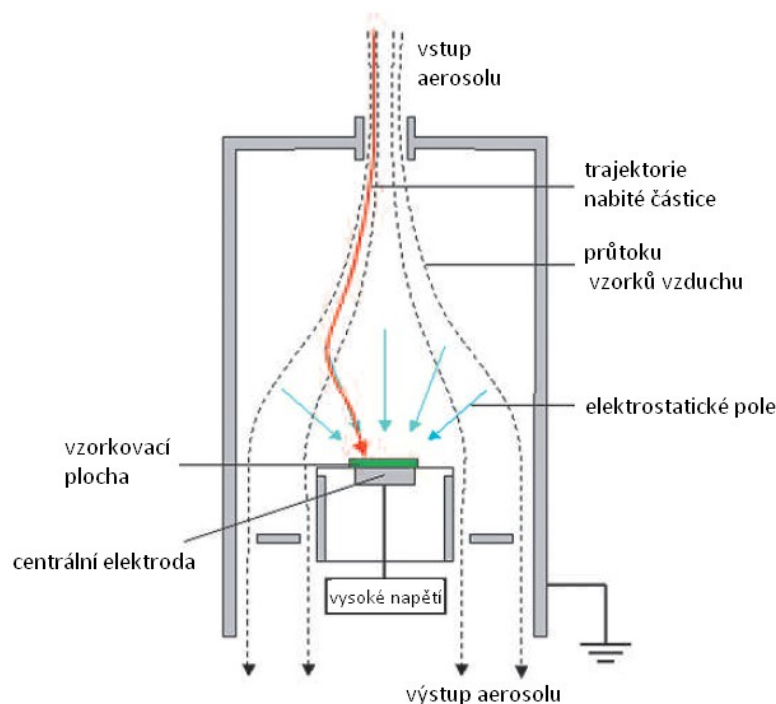
I tento odlučovač má velice široké využití. Výhodou odlučovače je jeho přímé připojení ke Grimm DMA pro dosažení nejmenší difúzní ztráty, což je důležité pro sběr částic nejmenších rozměrů. Další výhodou je velice snadná manipulace (*Electrostatic Precipitator, Model 5.561, 2012*).



**Obrázek 17 Elektrostatický odlučovač Model 5.561**, zdroj: Electrostatic Precipitator, Model 5.561, 2012



Na **Obrázku 18** je naznačen princip fungování elektrostatického odlučovače Model 5.561. Vzorek je veden přes potrubí do odlučovače. Následně dochází ke snížení rychlosti a tím zdržení částic v blízkosti centrální elektrody. Centrální elektroda poutá vzorkovaný substrát na horní části.



**Obrázek 18** Schéma Elektrostatického odlučovače Model 5.561, zdroj: Electrostatic Precipitator, Model 5.561, 2012

### 6.1.3 Kálmán Systém Ltd. KS-404 - Přenosný automatický izokinetický emisní vzorkovač prachu

Vzorkovač v automatickém provozním režimu je vhodný na izokinetické kontinuální průřezové, celkové nebo dílčí vzorkování částic vyskytujících se v proudícím vzduchu nebo plynu (*Operating instructions portable automatic isokinetic aerosol - dust sampler measurement circuit KS - 404, 2011*).

Vzorkovací systém KS-404 byl zkonstruován na základě specifikací normy ISO 9096, za současného využití zkušeností vyplývajících z laboratorních a provozních měření (*Operating instructions portable automatic isokinetic aerosol - dust sampler measurement circuit KS - 404, 2011*).

Schopnost přístroje zachytit prachové částice je závislá na parametrech jako jsou hustota prachových částic, rozložení frakce, či design odběrné sondy. Pro řízení a vyhodnocení měření je používán software, který je možné spustit v prostředí WINDOWS v notebooku připojeného k elektronice KS-400-S. Pomocí programu a elektroniky je možné zpracovávat, vypočítávat a dokumentovat údaje týkající se izokinetického vzorkování, měření rozložení rychlosti a měření rychlosti průtoku (*Operating instructions portable automatic isokinetic aerosol - dust sampler measurement circuit KS - 404, 2011*).



**Obrázek 19 Kálmán Systém Ltd. - Přenosný automatický izokinetický emisní vzorkovač prachu – KS-404**, zdroj: *Operating instructions portable automatic isokinetic aerosol - dust sampler measurement circuit KS - 404, 2011*

#### **6.1.4 Kálmán Systém Ltd. KS 220 - Kaskádový impaktor**

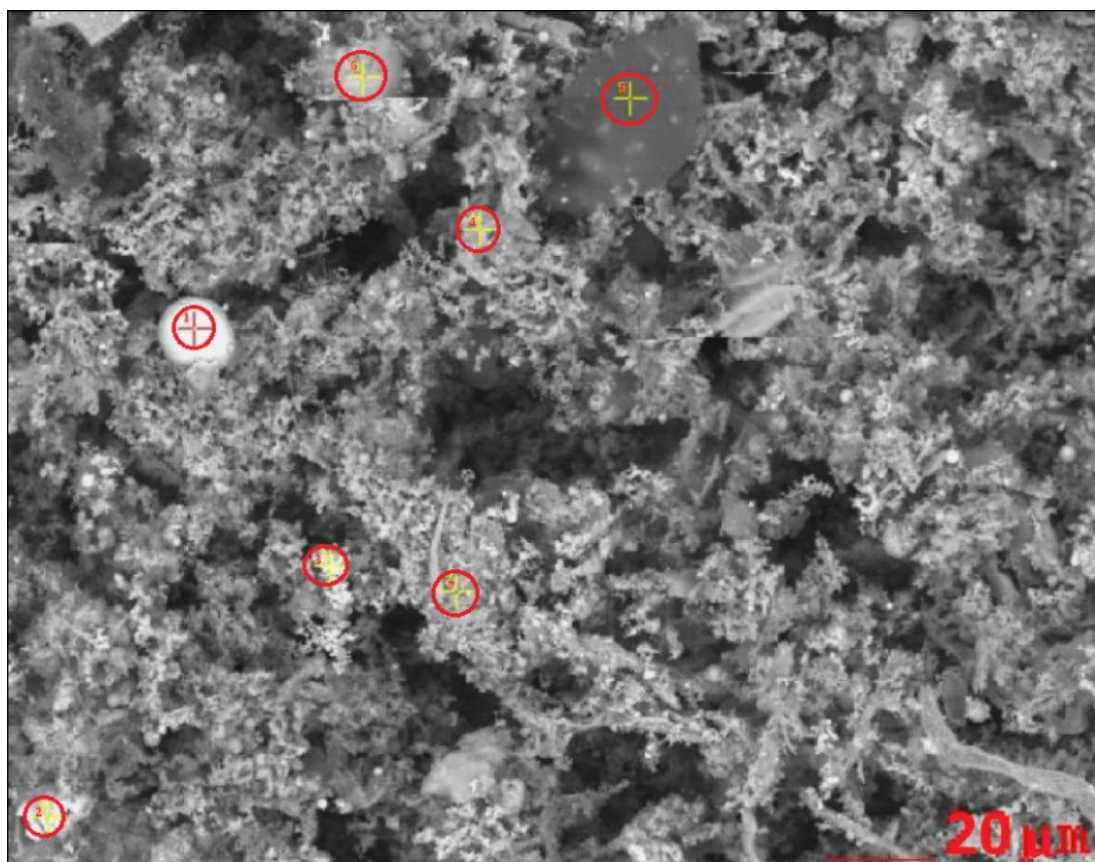
Dvoufázový impaktor používá inovativní design a dodržuje při vyhodnocení nové principy v oblasti měření průtoku. I toto zařízení bylo zkonstruováno na základě normy ISO 9096 (*Instructions for use portable automated isokinetic sampling measurement circuits for the fractionated sampling of solid particles and aerosols KS-220, 2011*)

Kaskádový impaktor KS-220 obsahuje vstupní difuzor, dva za sebou následující dvojité stupně a koncový filtr (vyroben z křemikových vláken). Kromě gravimetrického stanovení koncentrace částic resp. prachu v proudu plynu/vzduchu je měřicí obvod stejně vhodný pro rychlé měření rychlosti hlavního proudu plynu, testovaného média, jakož i kontinuální

sledování rychlosti průtoku v daných časových intervalech. Zařízení je vhodné pro izokinetické vzorkování vzduchu nebo plynu znečištěného prachem (částicemi v tuhé fázi). Obzvláště se doporučuje na monitoring emisí tuhých částic v různých technologiích prostřednictvím kontinuálního gravimetrického měření frakcí  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  a  $PM_1$  koncentrace prachu v kouřovodu (*Instructions for use portable automated isokinetic sampling measurement circuits for the fractionated sampling of solid particles and aerosols KS-220, 2011*).

## 6.2 Fázová chemická a mineralogická analýza $PM_{10}$ z emisních zdrojů

Odběr emisí byl proveden pomocí Kálmán Systém Ltd. KS 220, který byl vybaven měřicím okruhem KS 404 a impaktorem pro izokinetický odběr verze OH-610-B. Samotný odběr byl realizován na kotli o malém výkonu pro směs biomasy a uhlí v poměru 40:60 v Ostravě Bartovicích (*Raclavský a Obal, 2012*).

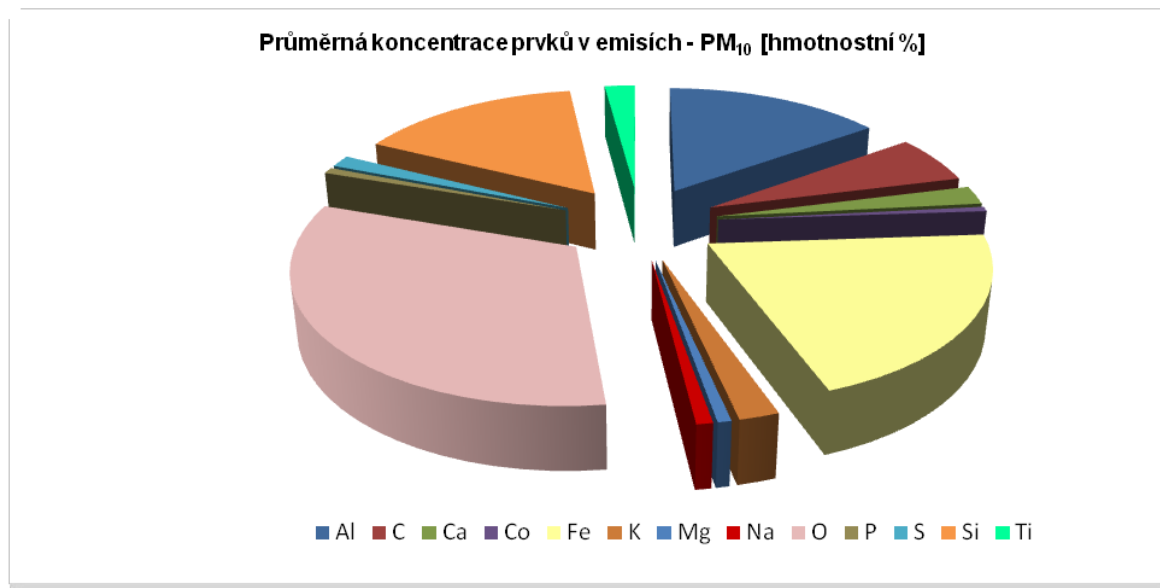


Obrázek 20 Charakter částic zachycených na křemíkovém filtru –  $PM_{10}$  (Filtr KS404-29), zdroj: Raclavský a Obal, 2012

Tabulka 28 Koncentrace jednotlivých prvků v částicích – PM<sub>10</sub>

|           | Koncentrace jednotlivých prvků v částicích (PM <sub>10</sub> ) [hmotnostní %] |       |       |       |       |       |       |       | Průměr |
|-----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|           | 1a  | 1b    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |        |
| <i>Al</i> | 15,86   | 8,9   | 8,91  | 6,77  | 23,37 | 16,61 | 20,45 | 27,19 | 16,01  |
| <i>C</i>  | -   | 1,96  | -     | -     | -     | 10,61 | -     | -     | 6,29   |
| <i>Ca</i> | 3,64  | 2,29  | 1,29  | 1,01  | 0,54  | 4,37  | 4,96  | 1,22  | 2,42   |
| <i>Co</i> | -   | -     | -     | 0,61  | -     | -     | -     | -     | 0,61   |
| <i>Fe</i> | 4,26  | 24,51 | 70,37 | 63,06 | 0,65  | 3,72  | 4,84  | 3,21  | 21,83  |
| <i>K</i>  | 3,98  | 1,65  | 1,3   | 1,02  | 1,75  | 2,6   | 2,85  | 1,6   | 2,09   |
| <i>Mg</i> | 0,49  | 1     | 0,37  | 0,51  | -     | 0,5   | 1,73  | 0,44  | 0,72   |
| <i>Na</i> | 1,56  | 1,07  | 0,79  | 0,82  | 0,57  | 0,9   | 0,7   | 0,44  | 0,86   |
| <i>O</i>  | 47,98   | 36,24 | 8,64  | 18,53 | 46,8  | 37,74 | 39,36 | 36,67 | 34,00  |
| <i>P</i>  | 1,19  | 1,06  | 0,44  | 0,44  | 0,39  | 0,82  | 1,52  | 0,51  | 0,80   |
| <i>S</i>  | 3,71  | 1,65  | 1,07  | 0,76  | 0,57  | 2,17  | -     | 1,07  | 1,57   |
| <i>Si</i> | 15,99   | 11,22 | 6,13  | 6,01  | 25,36 | 18,1  | 21,59 | 26,93 | 16,42  |
| <i>Ti</i> | 1,51  | 8,46  | 0,69  | 0,46  | -     | 1,84  | 2,01  | 0,71  | 2,24   |

V **Tabulce 28** jsou uvedeny hmotnostní procenta jednotlivých prvků v odebraných částicích o aerodynamickém průměru do 10 µm. Nejhojněji zastoupenými prvky v částicích jsou kyslík s průměrnou koncentrací 34 hm. %, dále železo s 22 hm. % a poté hliník a křemík s 16 hm. %, podíl ostatních prvků se pohybuje od 6 hm. % níže. Frakce PM<sub>10</sub> jako jediná obsahovala prvek kobalt, viz **Obrázek 21**.

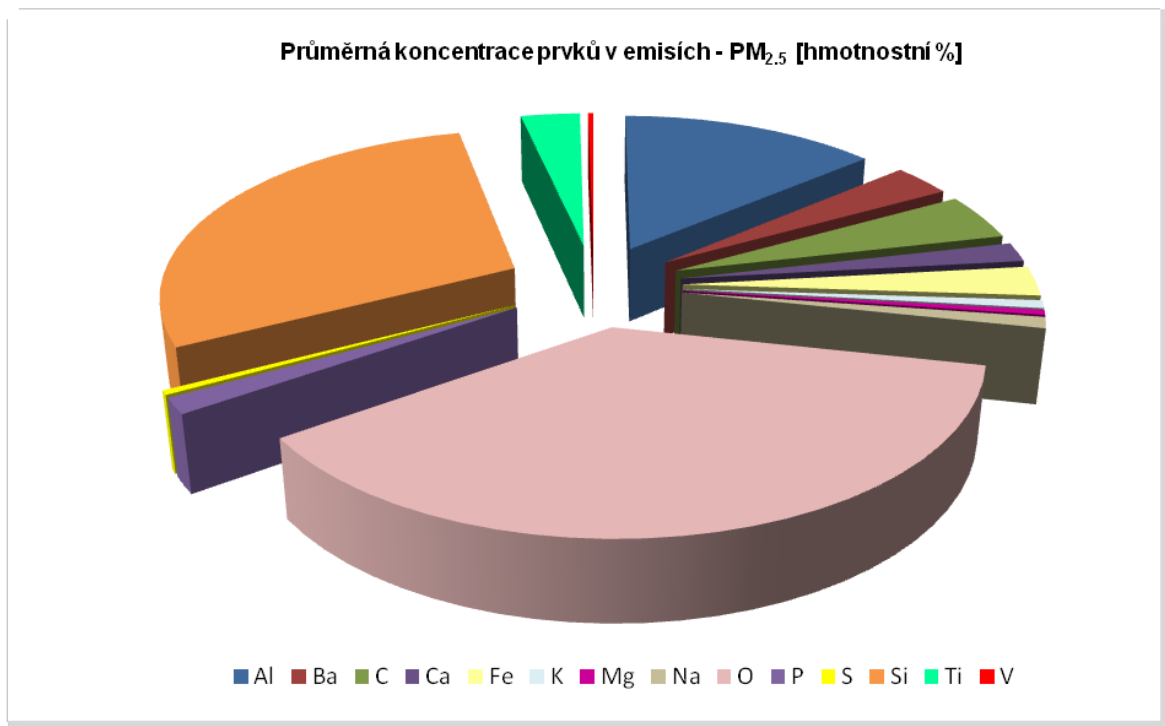
Obrázek 21 Průměrná koncentrace jednotlivých prvků v emisích – PM<sub>10</sub>

Pro porovnání zastoupení jednotlivých prvků v částicích o velikosti pod 10 µm, 2,5 µm a 1 µm jsou v **Tabulce 29 a 30** uvedeny také koncentrace jednotlivých prvků ve frakcích PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1</sub>.

Tabulka 29 Koncentrace jednotlivých prvků v částicích – PM<sub>2,5</sub>

|           | Koncentrace jednotlivých prvků v částicích (PM <sub>2,5</sub> ) [hmotnostní %] |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Průměr |
|-----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|           | 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |        |
| <i>Al</i> | 13,12  | 19,14 | 18,45 | 22,05 | 18,53 | 7,28  | 19,15 | 1,67  | 19,77 | 21,73 | 1,15  | 14,73  |
| <i>Ba</i> | -  | -     | -     | -     | -     | -     | 3,36  | -     | -     | -     | -     | 3,36   |
| <i>C</i>  | 2,98   | 1,68  | 2,74  | -     | 5,31  | 15,25 | 5,83  | -     | 4     | 1,87  | 3,06  | 4,75   |
| <i>Ca</i> | 5,42   | 0,31  | 0,19  | 0,38  | 0,45  | -     | 2,07  | 7,76  | 0,92  | 0,23  | -     | 1,97   |
| <i>Fe</i> | 5,84   | 0,59  | -     | 0,71  | 1,36  | 1,65  | 1,4   | 12,5  | 2,42  | 0,56  | -     | 3,00   |
| <i>K</i>  | 0,97   | 0,4   | 0,44  | 0,59  | 0,85  | 1,83  | 0,59  | -     | 1,15  | 0,41  | -     | 0,80   |
| <i>Mg</i> | 0,83   | -     | -     | -     | -     | 0,37  | 0,26  | 0,55  | -     | -     | -     | 0,50   |
| <i>Na</i> | 0,98   | 0,78  | 1,25  | -     | 1,33  | 0,69  | 0,7   | -     | 0,89  | 2,32  | -     | 1,12   |
| <i>O</i>  | 45,04  | 43,81 | 46,74 | 39,58 | 37,1  | 38,17 | 43    | 28,02 | 28,11 | 42,57 | 42,78 | 39,54  |
| <i>P</i>  | 5  | 0,26  | 0,27  | 0,23  | 0,21  | 0,59  | 6,23  | -     | -     | 0,23  | -     | 1,63   |
| <i>S</i>  | -  | -     | 0,31  | 0,18  | 0,46  | 1,44  | 0,52  | 0,35  | 0,32  | 0,09  | 0,38  | 0,45   |
| <i>Si</i> | 12,74  | 28,4  | 26,78 | 30,26 | 33,33 | 32,04 | 16,9  | 48,42 | 34,76 | 26,39 | 52,63 | 31,15  |
| <i>Ti</i> | 6,78   | 4,36  | 2,73  | 3,77  | 1,06  | 0,68  | -     | 0,73  | 6,96  | 3,6   | -     | 3,41   |
| <i>V</i>  | 0,29   | -     | 0,09  | 0,12  | -     | -     | -     | -     | 0,69  | -     | -     | 0,30   |

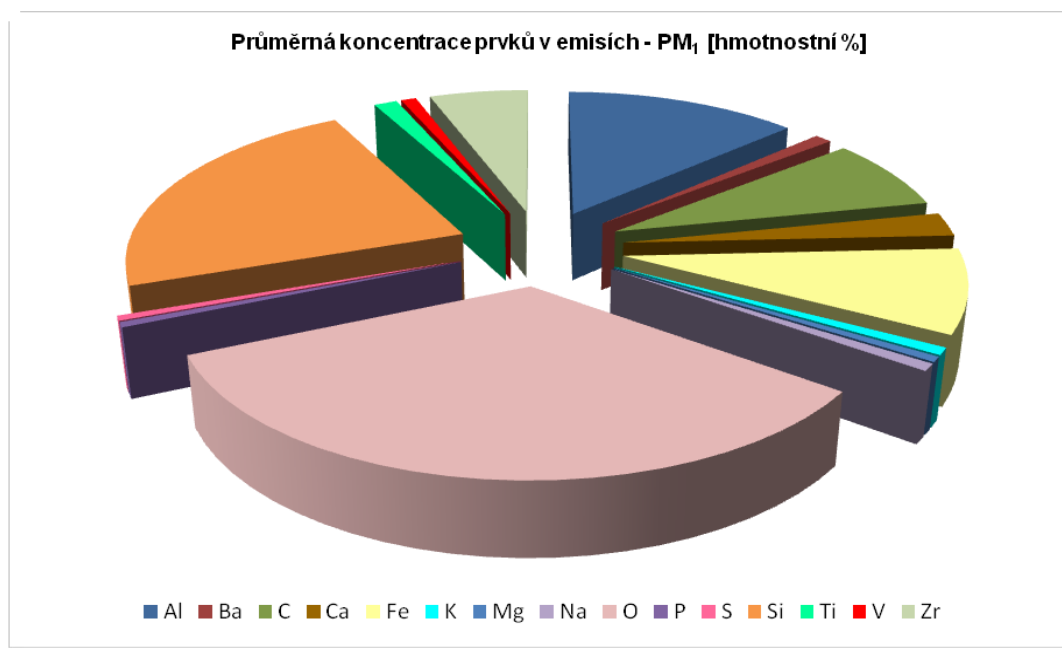
Tabulka 29 a Obrázek 22 uvádí zastoupení jednotlivých prvků u PM<sub>2,5</sub>. V této velikostní frakci se začínají vyskytovat prvky vanad a barium, které u PM<sub>10</sub> detekovány nebyly. Průměrná koncentrace vanadu je však pouhých 0,3 hm. % a baria 3,5 hm. %. Nejvíce zastoupenými prvky jsou opět kyslík s 39,5 hm. %, křemík s 32 hm. % a poté hliník s 15 hm. %. Koncentrace ostatních prvků se pohybuje pod 5 hm. %.

Obrázek 22 Průměrná koncentrace jednotlivých prvků v emisích – PM<sub>2,5</sub>

Tabulka 30 Koncentrace jednotlivých prvků v částicích – PM<sub>1</sub>

|           | Koncentrace jednotlivých prvků v částicích (PM <sub>1</sub> ) [hmotnostní %] |       |       |       |       |       |       |       |       | Průměr |
|-----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|           | 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |        |
| <b>Al</b> | 16,61  | 2,35  | 22,55 | 17,11 | 17,48 | 13,68 | 21,78 | 4,17  | 14,03 | 14,42  |
| <b>Ba</b> | 1,07   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 1,07   |
| <b>C</b>  | 7,78   | 20,5  | 4,81  | 3,32  | 16,86 | 2,93  | 3,81  | 1,88  | 12,23 | 8,24   |
| <b>Ca</b> | 4,11   | 0,54  | 4,2   | 0,71  | -     | 8,65  | 2,36  | 0,35  | 0,64  | 2,70   |
| <b>Fe</b> | 2,23   | -     | 3,46  | 1,59  | 1,18  | 5,72  | 3,95  | 56,85 | 1,06  | 9,51   |
| <b>K</b>  | 1,23   | 0,55  | 1,02  | 0,43  | 1,08  | 0,73  | 1,26  | 0,47  | 0,58  | 0,82   |
| <b>Mg</b> | 0,45   | -     | 1,28  | 0,23  | 0,23  | 1,28  | 0,44  | -     | 0,21  | 0,59   |
| <b>Na</b> | 0,55   | 0,16  | 3,17  | 0,42  | 0,45  | 0,95  | 0,67  | 0,49  | 0,37  | 0,80   |
| <b>O</b>  | 35,06  | 35,67 | 37,82 | 42,88 | 36,39 | 43,36 | 38,64 | 25,72 | 33,67 | 36,58  |
| <b>P</b>  | 0,32   | -     | 1,01  | 0,91  | 0,32  | 0,39  | 0,77  | 0,29  | -     | 0,57   |
| <b>S</b>  | 0,86   | 0,49  | 0,22  | 0,61  | 0,65  | 0,23  | 1,17  | 0,31  | 0,39  | 0,55   |
| <b>Si</b> | 22,94  | 38,43 | 18,82 | 31,17 | 24,89 | 22,08 | 19,54 | 9,48  | 35,25 | 24,73  |
| <b>Ti</b> | 0,67   | 0,4   | 1,63  | 0,62  | 0,45  | -     | 4,67  | -     | 1,57  | 1,43   |
| <b>V</b>  | -  | -     | -     | -     | -     | -     | 0,94  | -     | -     | 0,94   |
| <b>Zr</b> | 6,11   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 6,11   |

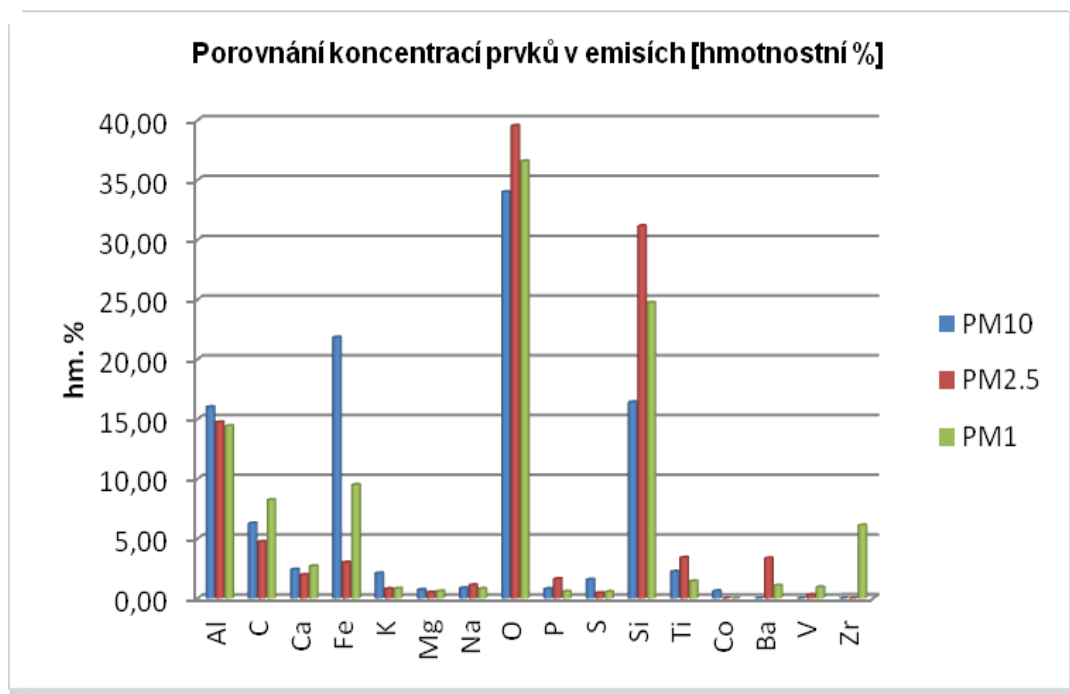
Prachové částice o velikosti do 1 µm obsahují oproti PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> odlišný prvek. Konkrétně se jedná o zirkonium, tento prvek byl nalezen pouze v jedné částici, jeho koncentrace je 6 hm. %. Zirkonium je běžnou součástí půd, proto lze předpokládat jeho původ ze spalování biomasy. Stejně jako PM<sub>2,5</sub>, tak i PM<sub>1</sub> obsahují prvky jako barium a vanad (oba s 1 hm. %). Nejvíce zastoupeným prvkem je opět kyslík s koncentrací 37 hm. %, křemík s 25 hm. %, hliník se 14 hm. % i podíl železa a uhlíku je u této frakce vyšší (téměř 10 hm. %) viz **Tabulka 30** a **Obrázek 23**.

Obrázek 23 Průměrná koncentrace jednotlivých prvků v emisích – PM<sub>1</sub>

**Tabulka 31** a **Obrázek 24** poukazují na rozdílné zastoupení jednotlivých prvků v různých velikostních frakcích – PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1</sub>. Frakce PM<sub>10</sub> vůbec neobsahovala prvky, jako je vanad a barium, naproti tomu jako jediná obsahovala kobalt. U všech frakcí byl nejhojněji zastoupen kyslík (u všech nad 34 hm. %), poměrně stejných hodnot dosahoval i hliník (od 14,5 hm. % do 16 hm. %). Výrazné rozdíly koncentrací u jednotlivých PM vykazovaly prvky železo (PM<sub>10</sub> – 22 hm. %, PM<sub>2,5</sub> – 3 hm. % a PM<sub>1</sub> – 9,5 hm %) nebo křemík (PM<sub>10</sub> – 16,5 hm. %, PM<sub>2,5</sub> – 31 hm. % a PM<sub>1</sub> – 25 hm %).

**Tabulka 31 Porovnání koncentrací prvků v emisích**

| Porovnání koncentrací prvků v emisích [hmotnostní %] |                  |                   |                 |           |                  |                   |                 |
|--|------------------|-------------------|-----------------|-----------|------------------|-------------------|-----------------|
|  | PM <sub>10</sub> | PM <sub>2,5</sub> | PM <sub>1</sub> |           | PM <sub>10</sub> | PM <sub>2,5</sub> | PM <sub>1</sub> |
| <i>Al</i>  | 16,01            | 14,73             | 14,42           | <i>P</i>  | 0,80             | 1,63              | 0,57            |
| <i>C</i>   | 6,29             | 4,75              | 8,24            | <i>S</i>  | 1,57             | 0,45              | 0,55            |
| <i>Ca</i>  | 2,42             | 1,97              | 2,70            | <i>Si</i> | 16,42            | 31,15             | 24,73           |
| <i>Fe</i>  | 21,83            | 3,00              | 9,51            | <i>Ti</i> | 2,24             | 3,41              | 1,43            |
| <i>K</i>   | 2,09             | 0,80              | 0,82            | <i>Co</i> | 0,61             | 0,00              | 0,00            |
| <i>Mg</i>  | 0,72             | 0,50              | 0,59            | <i>Ba</i> | 0,00             | 3,36              | 1,07            |
| <i>Na</i>  | 0,86             | 1,12              | 0,80            | <i>V</i>  | 0,00             | 0,30              | 0,94            |
| <i>O</i>   | 34,00            | 39,54             | 36,58           | <i>Zr</i> | 0,00             | 0,00              | 6,11            |



**Obrázek 24 Porovnání koncentrací prvků v emisích**



Ve všech velikostních třídách byly zachyceny agregáty částic s nízkým podílem částic s kuličkovitým charakterem- popílků (částice 1 na **Obrázku 19**) se silikátovým charakterem matrice (Si-Al-O- K-Ca-Fe).

### RTG-difrakční analýza emisí

Jako problém se jeví nevhodnost filtrů se zachyceným prachem pro fázovou analýzu. Filtr je totiž tvořen amorfním materiálem, což způsobuje zvýšení pozadí. Dalším problémem je malé množství zachyceného prachu na filtrech a taky fakt, že podstatnou složku prachu tvoří amorfní materiál. Jediným možným způsobem, jak získat difrakční záznam, je dlouhodobé měření společně s současným otáčením vzorku (*Raclavský a Obal, 2012*).

RTG difrakční analýza filtru byla realizována na přístroji *Bruker-AXS D8 Advance* s detektorem *LynxEye* (podmínky: záření  $\text{CoK}\alpha/\text{Fe}$ , resp.  $\text{CuK}\alpha/\text{Ni}$ , krok  $0.014^\circ$  2 theta, čas měření 12 hodin). Pro vyhodnocení bylo použito software *EVA* a *TOPAZ* (*Raclavský a Obal, 2012*).

Ve vzorku KS-404 byl detekován křemen, plagioklas, mullit a dále stopy anatasu, sanidinu a anhydritu. Tyto fáze jsou primárně přítomny v popelovině v uhlí a jejich výskyt tedy souvisí se spalováním uhlí. Dále byly ve vzorku přítomny linie nejspíše odpovídající fázi  $\text{K}_4\text{H}_5(\text{SO}_4)_3\text{PO}_4$  (PDF 00-048-0710). Avšak u této fáze není známá krystalová struktura, neboť nebylo možné uskutečnit semikvantitativní odhad množství ani ověření identifikace (*Raclavský a Obal, 2012*).

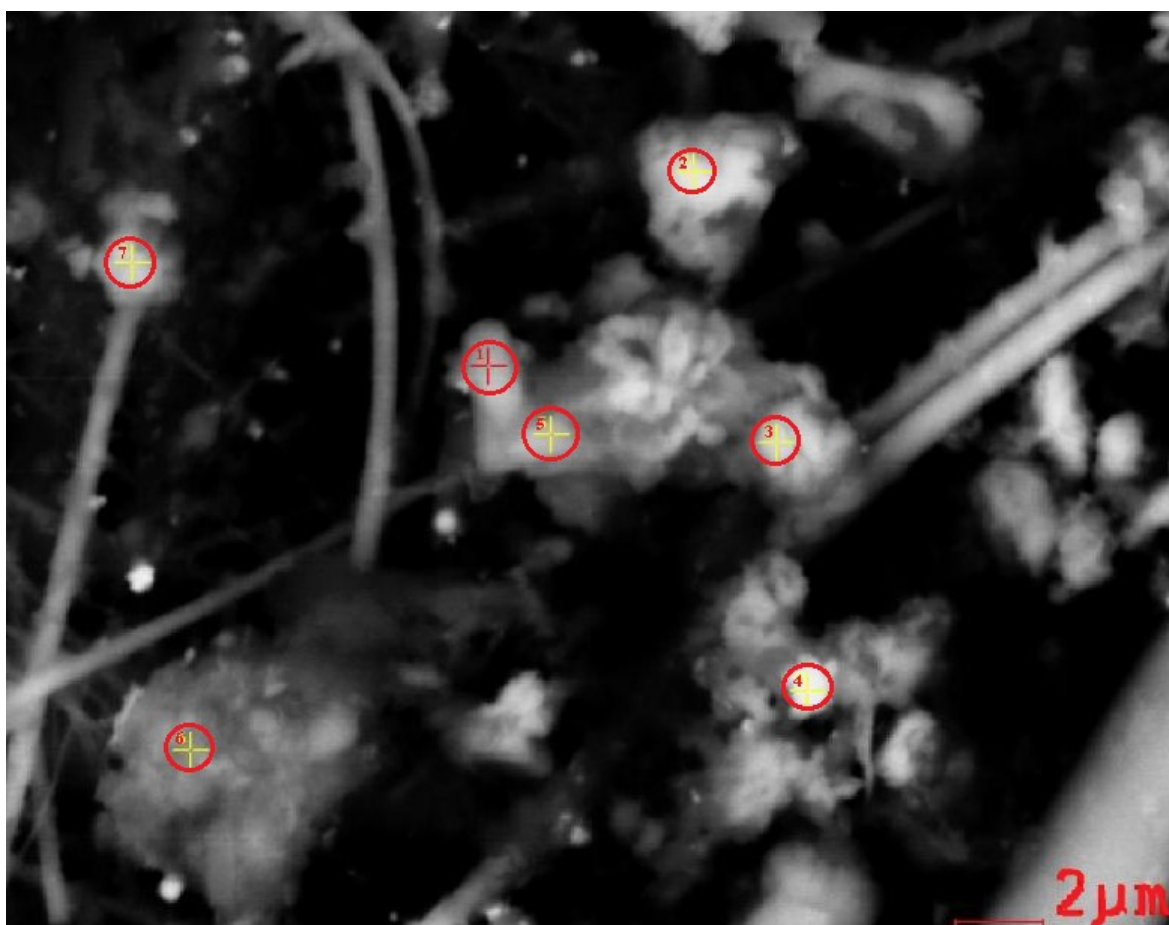
Vzorek  $\text{PM}_{10}$  pocházel ze spalování biomasy a uhlí (fáze  $\text{K}_4\text{H}_5(\text{SO}_4)_3\text{PO}_4$  nebyla v popílku ze spalování biomasy ani uhlí popsána). Velice problematická je přítomnost vodíku, která komplikuje interpretaci výsledků. S jistotou nelze vyloučit, že během odběru či až po něm dochází k rekrystalizaci těchto fází. Rekrystalizace by mohla být vyloučena/potvrzena pomocí morfologie a tvaru částic, což však není možné z důvodů přítomnosti agregátů částic. Výsledky RTG-difrakce dokládají potřebu lépe zvládnout metodiku odběru, tak aby vyhovovala koncové analýze (*Raclavský a Obal, 2012*).



### 6.3 Fázová chemické a mineralogická analýza PM<sub>10</sub> v imisích

Odběr imisí byl proveden v období od 11. do 18. listopadu 2012 na křižovatce ulic Českobratská a Sokolská v Ostravě (jedná se o velice dopravně vytížené ulice). Jednalo se o dvacetí čtyř hodinové odběry. Samotný odběr byl proveden aparaturou *Leckel* s odběrnou hlavicí pro velikostní frakci PM<sub>10</sub> (*Raclavský a Obal, 2012*).

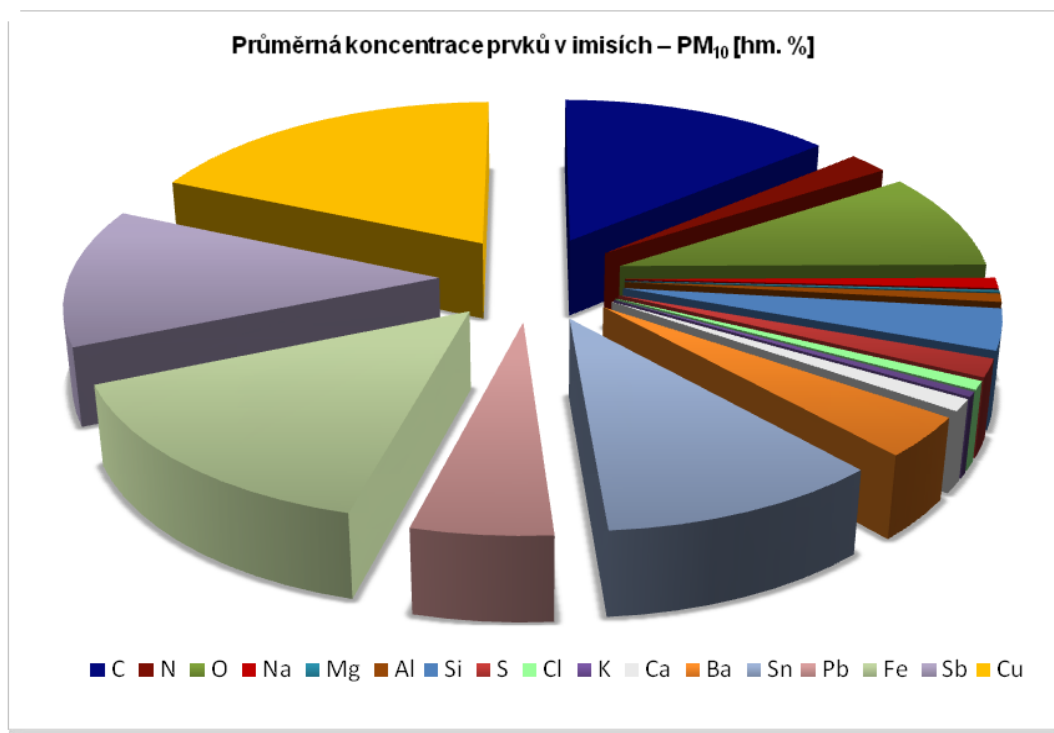
V následující tabulce jsou uvedeny částice s vyšším obsahem kovů. I v tomto případě částice vytváří menší agregáty.



Obrázek 25 Charakter částic v imisích, zdroj: Raclavský a Obal, 2012

Tabulka 32 Koncentrace prvků v imisích PM<sub>10</sub> [hm.%]

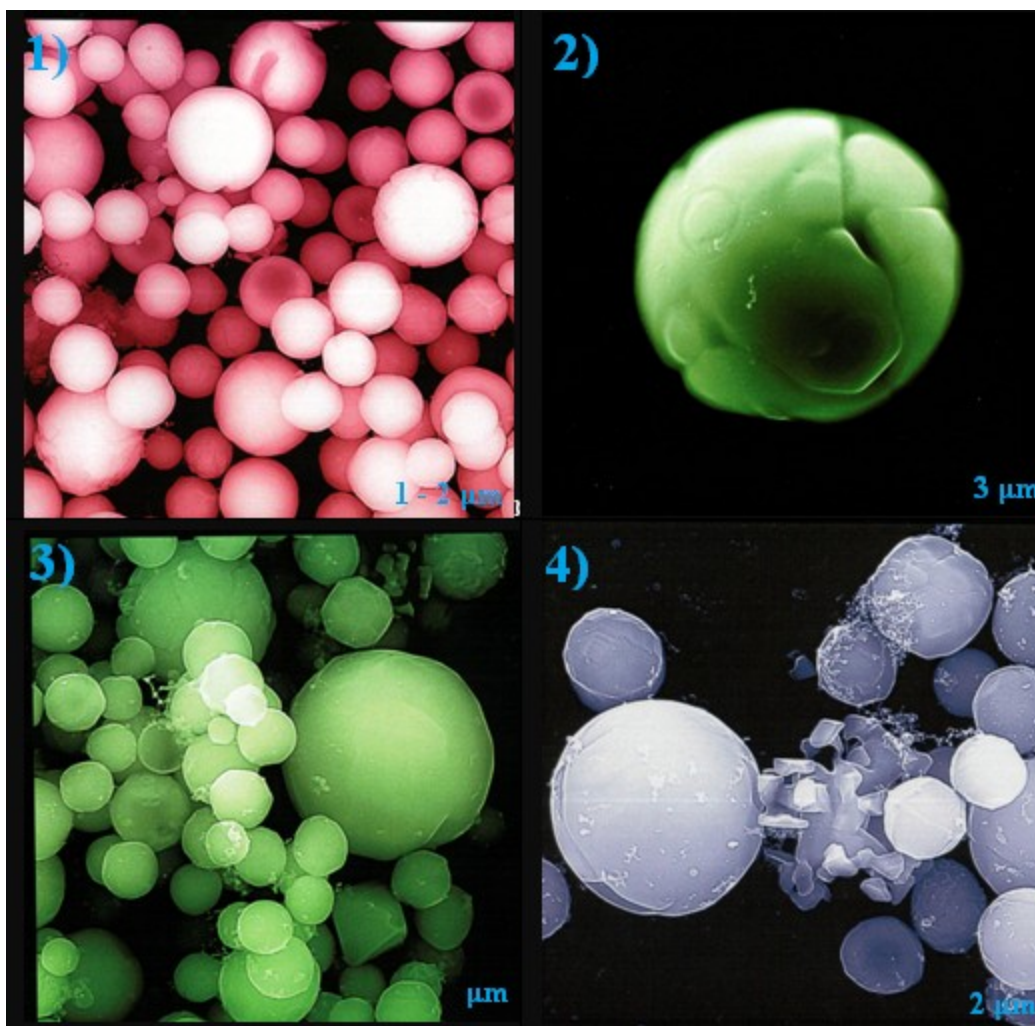
| Koncentrace prvků v imisích PM <sub>10</sub> [hm.%] |                |         |       |       |       |       |       |        |
|---|----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|   | 1              | 2       | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | Průměr |
|   | Plocha- průměr | Pb-S-Cl | Sb-S  | Fe-O  | Fe    | Ba-S  | Cu    |        |
| <i>C</i>  | 43,89          | 39,29   | 30,08 | 20,64 | 16,18 | 24,18 | 15,53 | 27,11  |
| <i>N</i>  | 3,95           | -       | -     | -     | -     | -     | -     | 3,95   |
| <i>O</i>  | 26,29          | 20,72   | 19,94 | 30,92 | 7,83  | 12,68 | 5,86  | 17,75  |
| <i>Na</i>   | 1,80           | 1,02    | 0,89  | 2,71  | 2,02  | 3,11  | -     | 1,93   |
| <i>Mg</i>   | 0,40           | -       | -     | 0,51  | 0,44  | 0,31  | -     | 0,42   |
| <i>Al</i>   | 1,98           | 2,46    | 1,02  | 1,39  | 1,35  | 1,59  | 0,95  | 1,53   |
| <i>Si</i>   | 8,10           | 7,92    | 7,32  | 6,71  | 6,70  | 10,52 | 4,56  | 7,40   |
| <i>S</i>  | 1,57           | 2,63    | 10,58 | 1,94  | 1,07  | 4,27  | 0,81  | 3,27   |
| <i>Cl</i>   | 3,11           | 5,08    | 0,53  | 0,77  | 0,44  | 0,56  | 0,47  | 1,57   |
| <i>K</i>  | 1,32           | 1,61    | 0,48  | 0,80  | 0,75  | 1,21  | 0,41  | 0,94   |
| <i>Ca</i>   | 1,87           | 3,13    | -     | 4,51  | 1,16  | 1,57  | 0,76  | 2,17   |
| <i>Ba</i>   | 1,46           | 0,82    | 0,82  | 1,30  | 1,93  | 37,23 | -     | 7,26   |
| <i>Sn</i>   | -              | 38,45   | -     | -     | -     | 2,77  | -     | 20,61  |
| <i>Pb</i>   | -              | 10,23   | -     | -     | -     | -     | -     | 10,23  |
| <i>Fe</i>   | -              | -       | -     | 27,80 | 57,62 | -     | 0,77  | 28,73  |
| <i>Sb</i>   | -              | -       | 25,32 | -     | -     | -     | -     | 25,32  |
| <i>Cu</i>   | -              | -       | -     | -     | 2,51  | -     | 69,86 | 36,19  |

Obrázek 26 Průměrná koncentrace prvků v imisích – PM<sub>10</sub> [hm. %]

Tabulka 32 a Obrázek 26 obsahují informace o zastoupení jednotlivých prvků v imisích (PM<sub>10</sub>). Mezi nejhojněji zastoupené prvky patří uhlík s průměrnou koncentrací 27 hm. %, kyslík s 18 hm. % (je pravdou že prvky: měď, antimon nebo cín mají průměrnou

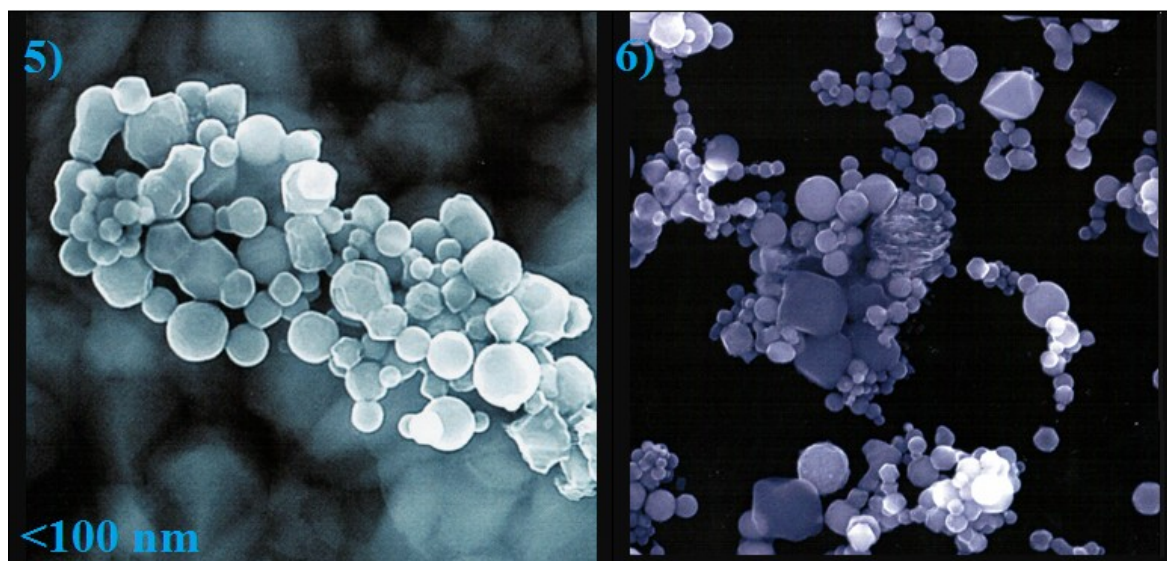
koncentraci také vysokou, ale nebyly stanoveny ve všech či alespoň většině odebraných prachových částicích, proto není hodnota průměrné koncentrace příliš reprezentativní). Je však nutno říci, že se množství prvků v jednotlivých odebraných částicích značně liší. Zdárným příkladem je zmíněný prvek měď, který se vyskytoval pouze ve dvou částicích, a u nějž je rozdíl koncentrace více jak 30-ti násobný.

Na **Obrázku 27 a 28** jsou zobrazeny některé typické částice nacházející se v ovzduší města Ostravy. Fotografie byly pořízeny elektronovým mikroskopem v rámci projektu Monitoring nanočástic v životním prostředí realizovaném ZUOVA.



- 1) částičky oxidů železa
- 2) částice z oxidických fází železa (vznik při kontaktu taveniny kovu a vzduchu)
- 3) prachové znečištění při výrobě oceli
- 4) nanočástice pocházející z ocelárny

**Obrázek 27** Některé druhy nanočástic odebraných z ovzduší 1), zdroj: Bulletin k Vernisáži Ostravský prach, 2013



5) agregát nanočástic (potvrzuje tendenci nanočástic vytvářet shluky)  
6) směs částic (oxidy železa)

**Obrázek 28** Některé druhy nanočástic odebraných z ovzduší 2), zdroj: Bulletin k Vernisáži Ostravský prach, 2013

Ve světě proběhlo mnoho studií zabývajících se chemickým složením  $PM_{10}$  v imisích. Například v roce 1997 proběhl výzkum v Mexico City, kde byla zjištěna imisích přítomnost prvků, mezi které patří Al, Si, S, Cl, Ca, K, Fe, Ti, Zn či Pb. Tyto prvky se v  $PM_{10}$  vyskytovaly poměrně hojně, avšak byla detekována i přítomnost prvků P, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Ar a Ba (Chow *et. al.*, 2002). Další studie proběhla také ve Východním středomoří (konkrétně v Bejrútu, 2003-2007), kde byly ve frakci  $PM_{10}$  zjištěny tyto prvky: Si, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Pb, Zn (Saliba *et. al.*, 2010). Výskyt či poměrné zastoupení jednotlivých prvků v imisích velice úzce souvisí s tamějším využitím území, vyskytujícím se druhem průmyslové výroby, mírou dopravy apod.

### Distribuce velikosti částic v imisích

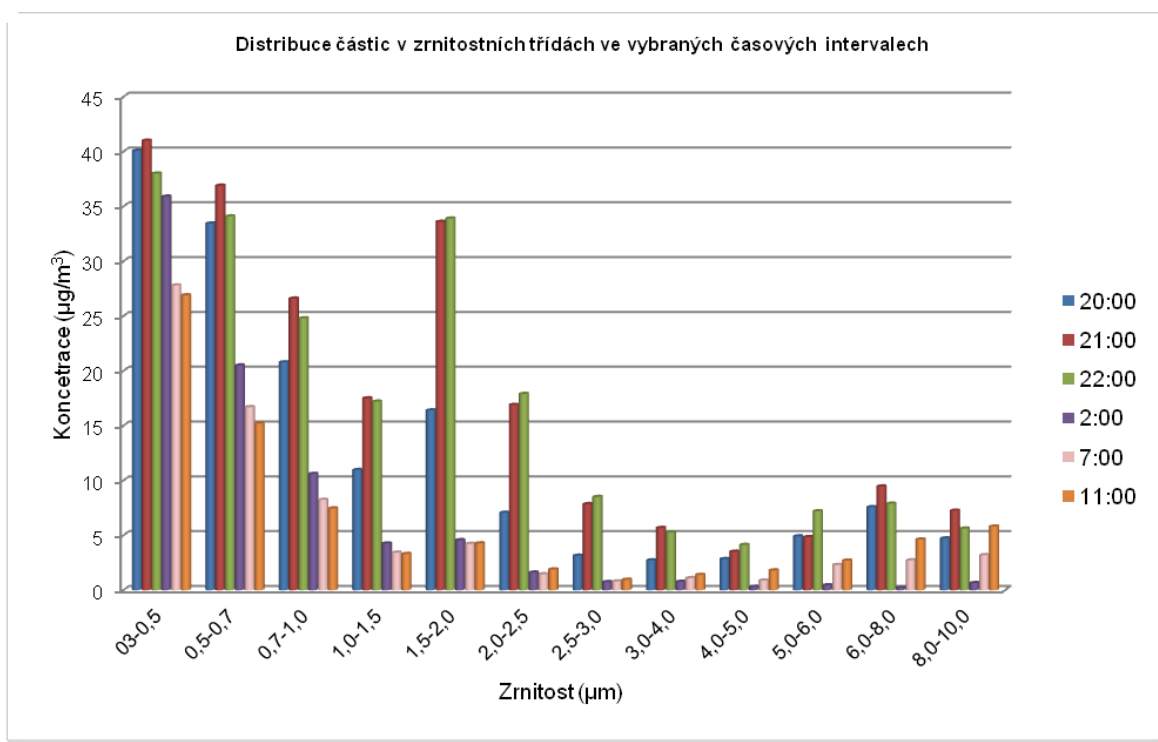
Pro sledování distribuce částic v  $PM_{10}$  bylo použito přístroje *Optical Particle Sizer, Model 3330*. Bylo zvoleno dvanáct zrnitostních tříd: 10.0 – 8.0, 8.0 – 6.0, 6.0 – 5.0, 5.0 – 4.0, 4.0 – 3.0, 3.0 – 2.5, 2.5 – 2.0, 2.0 – 1.5, 1.5 – 1.0, 1.0 – 0.7, 0.7 – 0.5 a 0.5 – 0.3  $\mu m$ . Z měřených parametrů byly vyhodnoceny koncentrace částic v  $\mu g/m^3$ .

**Tabulka 33** Distribuce částic v zrnitostních třídách ve vybraných časových intervalech

| Distribuce částic v zrnitostních třídách ve vybraných časových intervalech |                 |                 |                 |                 |                 |                  |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| $\mu g/m^3$  |                 |                 |                 |                 |                 |                  |
| hodina   | 0,3-0,5 $\mu m$ | 0,5-0,7 $\mu m$ | 0,7-1,0 $\mu m$ | 1,0-1,5 $\mu m$ | 1,5-2,0 $\mu m$ | 2,0-2,5 $\mu m$  |
| 20:00  | 40,08           | 33,44           | 20,78           | 10,96           | 16,4            | 7,06             |
| 21:00  | 41              | 36,9            | 26,6            | 17,5            | 33,6            | 16,9             |
| 22:00  | 38              | 34,1            | 24,8            | 17,2            | 33,9            | 17,9             |
| 2:00   | 35,9            | 20,5            | 10,6            | 4,25            | 4,56            | 1,61             |
| 7:00   | 27,8            | 16,7            | 8,24            | 3,43            | 4,22            | 1,45             |
| 11:00  | 26,9            | 15,2            | 7,46            | 3,3             | 4,27            | 1,89             |
| $\mu g/m^3$  |                 |                 |                 |                 |                 |                  |
| hodina   | 2,5-3,0 $\mu m$ | 3,0-4,0 $\mu m$ | 4,0-5,0 $\mu m$ | 5,0-6,0 $\mu m$ | 6,0-8,0 $\mu m$ | 8,0-10,0 $\mu m$ |
| 20:00  | 3,14            | 2,72            | 2,84            | 4,91            | 7,57            | 4,72             |
| 21:00  | 7,85            | 5,68            | 3,51            | 4,84            | 9,46            | 7,25             |
| 22:00  | 8,5             | 5,26            | 4,13            | 7,2             | 7,89            | 5,62             |
| 2:00   | 0,74            | 0,76            | 0,3             | 0,45            | 0,21            | 0,65             |
| 7:00   | 0,8             | 1,1             | 0,88            | 2,3             | 2,72            | 3,19             |
| 11:00  | 0,95            | 1,39            | 1,8             | 2,7             | 4,62            | 5,8              |

Koncentrace  $PM_{10}$  měla během dne klasický průběh. Nejvyšších hodnot nabývala v rozmezí 20:00 až 1:00, poté mezi 1:00 až 2:00 došlo k prudkému poklesu a v hodinách 7:00 a 11:00 došlo opět k mírnému nárůstu. Největší počet částic se nachází v zrnitostní třídě 0.3 až 0.5  $\mu m$ , 0.5 až 0.7  $\mu m$  a ve třídě 0.7 až 1.0  $\mu m$ . U distribuce částic v době od 20:00 do 22:00 se projevují vyšší koncentrace částic v zrnitostní třídě 1.5 – 2.0  $\mu m$ , ale i 2.0 – 2.5  $\mu m$ , viz **Tabulka 33** a **Obrázek 29**.

Během roku 2012 bylo na stanici Ostrava-Zábřeh provedeno denní měření poletavého prachu (TSP,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  a  $PM_1$ ). Z výsledků měření plyne, že frakce  $PM_{10}$  je ze 72 % tvořena frakcí  $PM_{2.5}$  a z 65 % frakcí  $PM_1$  (Raclavský a Obal, 2012).



**Obrázek 29** Distribuce částic v zrnitostních třídách ve vybraných časových intervalech

## 7. Vyhodnocení

Mezi nejvýznamnější producenty látek znečišťujících ovzduší v Moravskoslezském kraji jsou řazeny společnosti Třinecké železářny a ArcelorMittal Ostrava. V kapitole 5 byl proto proveden odhad emisí těžkých kovů a  $PM_{10}$ , které jsou schopny potencionálně vyprodukovat během výroby koksu, aglomerátu, oceli a surového železe bez použití odlučovacích zařízení. Pro výpočet předpokládaného množství vyprodukovaných emisí  $PM_{10}$  a těžkých kovů bylo použito stanovených emisních faktorů („National Atmospheric Emissions Inventory“ (viz kapitola 4.1) a informací o množství spotřebovaného paliva či vyrobeného produktu (viz kapitola 5). Největším původcem prachových částic je výroba aglomerátu, která probíhá v podniku Třinecké železářny. Množství vyprodukovaných  $PM_{10}$  je u ostatních výrobních procesu (výroba železa a oceli, či koksu) zhruba na srovnatelné úrovni a to jak u Třineckých železáren, tak u ArcelorMittalu Ostrava. Ze skupiny těžkých kovů je do ovzduší nejvíce emitován zinek a to převážně během výroby železa a oceli. Množství ostatních kovů emitovaných do ovzduší je u všech výrobních procesů velice podobné. Pouze mírně zvýšené množství lze zaznamenat u mědi, která je emitována během výroby železa a oceli, chrómu produkovaném během výroby koksu, či selenu u výroby aglomerátu. Při porovnání celkových emisí vyprodukovaných jednotlivými podniky byly zjištěny určité odlišnosti. Jelikož každý podnik se soustřeďuje na odlišnou výrobu. ArcelorMittal Ostrava vyrábí o cca 60 % více železa a oceli, což se projevuje na zvýšené emisi některých těžkých kovů (např. zinek, arzen, měď, chrom, nikl) a téměř o 40 % více koksu. Naproti tomu Třinecké železářny se soustřeďují kromě výroby železa a koksu také na produkci aglomerátu, což pravděpodobně vede ke zvýšené produkci těžkých kovů jako je kadmium a selen a produkují téměř o 27 % více  $PM_{10}$  než ArcelorMittal Ostrava. Tyto výsledky by bylo potřebné potvrdit chemickou analýzou vstupních surovin pro technologické procesy.

Chemická charakteristika submikroskopických částic je náročná analytická metoda s významným potenciálem pro budoucí výzkum. V současné době je kombinace offline a online přístupů nezbytná k získání detailního morfologického a chemického složení jednotlivých nanočástic. Pro provedení fázové analýzy je nutné zajistit správný odběr vzorků, který může být proveden pomocí vzorkovače nanometrických aerosolů



Model 3089, elektrostatickým odlučovačem Model 5.561 atd. Tyto vzorkovače zajistí takový odběr imisí, aby nedocházelo ke vzájemné aglomeraci mikročástic.

K vlastnímu odběru vzorku emisí bylo použito aparatury Kálmán KS 404 s impaktorem KS 202. Nejnáročnější a nejproblematictější se během měření ukázala být výměna filtračního materiálu, neboť během ní může docházet ke ztrátám vzorku na filtru. Dále je metoda stanovení doprovázena velice složitou přípravou vzorku, jelikož dochází k aglomeraci částic a jejich následnému ovlivnění, což vede k nejednoznačné identifikaci částic. Z tohoto důvodu by bylo vhodné provést změnu v postupu vzorkování. Avšak je nutno říci, že kaskádový impaktor je velice dobře přizpůsoben k měření během technicky náročných podmínek provozu zdroje emisí (konkrétně koksárenská výroba, produkce železa a oceli, či energetika).

Během fázové analýzy bylo zjištěno zastoupení jednotlivých prvků v emisích prachových částic zrnitostní třídy  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  a  $PM_1$  a imisí ( $PM_{10}$ ). Stanovené hodnoty jednotlivých prvků v částicích byly zprůměrovány. Emise všech zrnitostních frakcí obsahovaly prvky: Al, C, Ca, Fe, K, Mg, Na, O, P, S, Si, Ti. U částic o velikosti do 10  $\mu m$  obsahovaly částice navíc prvek kobalt a částice do 2,5  $\mu m$  a 1  $\mu m$  obsahovaly prvky barium a vanad. Jednotlivé prvky byly v různých velikostních frakcích zastoupeny různou měrou. Obecně lze však říci, že nejhojněji zastoupené prvky byly kyslík, křemík a hliník. U  $PM_{10}$  a  $PM_1$  bylo hojněji zastoupeno také železo. Některé prvky nacházející se v imisích byly shodné s prvky v emisích (C, O, Na, Ba, Mg, Si, Mg, Fe a jiné), ale zvýšil se počet kovů, které byly detekovány. Jednalo se o prvky jako je měď, antimon, olovo a cín. Nejhojněji zastoupené prvky v částicích imisí byly O a C. Zastoupení vyššího množství těžkých kovů v imisích je velice nebezpečné, jelikož imise přicházejí do přímého kontaktu s lidským organismem a jsou schopny pronikat do dýchacího ústrojí.

Pomocí RTG-difrační analýzy emisí byly ve vzorku KS-404 detekován křemen, plagioklas, mullit a dále stopy anatasu, sanidinu a anhydritu. Tyto fáze jsou primárně přítomny v popelovině v uhlí a jejich výskyt tedy souvisí se spalováním uhlí.

U imisí byla dále zkoumána distribuce velikosti částic. Největší koncentrace částic se nachází v zrnitostní třídě 0.3 - 0.5  $\mu m$ , 0.5 - 0.7  $\mu m$  a ve třídě 0.7 - 1.0  $\mu m$ , což jsou částice pronikající do dýchací soustavy (plicních sklípků) živých organismů.



## 8. Závěr

Mezi nejvýznamnější velké producenty látek znečišťujících ovzduší na území Moravskoslezského kraje patří bezpochyby společnosti ArcelorMittal Ostrava a Třinecké železářny. Proto bylo vypočteno množství emisí  $PM_{10}$  a těžkých kovů, které jsou schopny teoreticky vyprodukovat během výroby koksu a aglomerátu, či oceli a surového železa bez použití odlučovacích zařízení. Podnik Třinecké železářny produkuje vyšší množství emisí  $PM_{10}$  (téměř o 27 %) a těžkých kovů (selen o 60 % a kadmium o 20 %) než ArcelorMittal Ostrava, což je pravděpodobně zapříčiněno výrobou aglomerátu, jelikož produkce koksu je u Třineckých železáren téměř o 40 % nižší než u ArcelorMittalu Ostrava. Naproti tomu podnik ArcelorMittal Ostrava, který se spíše soustředí na výrobu železa a oceli, produkuje vyšší množství ostatních těžkých kovů, jako jsou zinek (o 60 %), měď (o 44 %), arzen (o 45 %), chrom (o 30 %) a nikl (o 50 %). Pro potvrzení těchto výsledků by bylo vhodné provést analýzu vstupních surovin na těžké kovy, která by potvrdila/vyvrátila zjištěné výsledky.

Výsledky fázové mineralogické a chemické analýzy (SEM+EDAX) potvrdily možnost využití této analýzy pro identifikaci zdrojů znečištění (emise i imise). Avšak pro správné provedení analýzy je nutno zajistit správný odběr vzorků, který zahrnuje zamezení aglomerace částic a kumulaci vysokého množství částic zachyceného na filtračním materiálu. Z tohoto důvodu se do popředí zájmu dostávají odběrná zařízení fungující na principu elektrostatického náboje, které jsou schopny tyto negativní jevy u analýzy imisí minimalizovat.

## 9. Seznam literatury

1. ADAMEC, Vladimír. *Prašnost z dopravy a její vlivy na imisní zatížení ovzduší suspedovanými částicemi*. 2006. Výroční zpráva za rok 2005.
2. Air Quality Guidelines: Particulate matter. Denmark: Regionální úřad WHO pro Evropu, 2000. 2. vydání.
3. AL-DAHABI, Indira, Jarrah AL-ZU'BI, Omar RIMAWI a Yasin AL-ZU'BI. The relationship between total suspended particulate matter (TSP) and different climatic factors: The case of Jordan. Helsinki, 2010.
4. ALIAS, Masitah, Lee See KENN a Zaini HAMZAH. *PM10 and total suspended particulates (TSP) Measurements in various power stations*. 2007.
5. AMATO F, PANDOLFI M, ESCRIG A, QUEROL X, ALASTUEY A, PEY J, PEREZ N. HOPKE P.K. *Quantifying road dust resuspension in urban environment by Multilinear Engine: a comparison with PMF2*. 2009.
6. *Analýza závislosti meteorologických veličin a kvality ovzduší*. Ostrava, 2012. Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě.
7. Arnika: I přes snížení emisí některých látek se znečišťovatelé v Moravskoslezském kraji příliš nepolepšili. *Enviport* [online]. 2010 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.enviport.cz/arnika-i-pres-snizeni-emis-215934.aspx>
8. BAEK S. O., R. A. FIELD, M. E. GOLDSTONE, P. W. KIRK, J. N. LESTER, R. PERRY: *Water, Air and Soil Pollution*, 1991, s. 279-300.
9. BANÁŠ Tadeáš, Ústní sdělení. (27-1-2013)
10. BARTOŇOVÁ L.: *Distribuce prvků při spalování uhlí v elektrárnách s cirkulující fluidní vrstvou*. Disertační práce, VŠB-TU, Ostrava, 2002, 172 s
11. BOGO, OTERO, CASTRO, OZAFRAN, KREINER, CALVO, NEGRI. *Study of Atmospheric Particulate Matter in Buenos Aires City*. 2003.
12. BUZEA C., BLANDINO I. I. P., ROBBIE K. *Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity*. č.4. 2007.

13. BZDEK, Bryan R., M. Ross PENNINGTON a Murray V. JOHNSTON. *Single particle chemical analysis of ambient ultrafine aerosol: A review*. Newark, 2012. Department of Chemistry and Biochemistry. University of Delaware.
14. CASUCCIO; LERSCH; SCHLAEGLE; MARTELLO. *Characterization of Ambient Carbonaceous Particles Using Elektron Microscopy Techniques*. 2002. American Chemical Society, Fuel Chemistry Division Prprints 47(1).
15. Criteria Air Pollutant Particulate Matter (TSP and PM -10) in Minnesota control agency (1997)
16. Česká republika. O ochraně ovzduší a související předpisy. In: č. 69/2012, str. 2786. 2012, č. 201.
17. Data o škodlivinách naznačují, že by se lidem na Ostravsku mohlo ulevit od prachu. *Arnika* [online]. 2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://arnika.org/data-o-skodlivinach-naznacuji-ze-by-se-lidem-na-ostravsku-mohlo-ulevit-od-prachu>
18. DIXKENS J. a FISSAN H. *Vývoj elektrostatického odlučovače pro offline analýzu částic*. 1999. Aerosol věda a technika.
19. DODEK, Radim. *Hodnocení finančního rizika podniku*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Maria Režnáková.
20. DOMASOVÁ M., J. KOŘNAROVÁ, M. BRANIŠ: *Ochrana ovzduší*, 2002, s. 26-28.
21. Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu. *Podpora lokálního vytápění biomasou* [online]. 2007-2013 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/ekotzl.htm>
22. Electrostatic Precipitator, Model 5.561, 2012
23. *EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009 – Part B – 1. A.3.b Road transport GB2009 update Mayv2012*, [cit. 2013-08-2]. Dostupné na [www](http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1.a.3.b-road-transport-gb2009-update.pdf/view):
24. *EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009 – Part B – 1. A.3.bvi Road tyre and brake wear.pdf*, [cit. 2013-08-2]. Dostupné na [www](http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-):

2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-vi-road-tyre-and-brake-wear.pdf/view

25. *EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009 – Part B – 1. A.4. small combustion*, [cit. 2013-08-2]. Dostupné na [www: http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion-tfeip-endorseddraft.pdf](http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion-tfeip-endorseddraft.pdf).
26. Emisní bilance České republiky. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2008 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://old.chmi.cz/uoco/emise/embil/emise.html>
27. Emission factors detailed by source and fuel. *National Atmospheric Emissions Inventory* [online]. 2013 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://naei.defra.gov.uk/data/ef-all-results?q=717>
28. Emission factors detailed by source and fuel. *National Atmospheric Emissions Inventory* [online]. 2013 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://naei.defra.gov.uk/data/ef-all-results?q=718>
29. Emission factors detailed by source and fuel. *National Atmospheric Emissions Inventory* [online]. 2013 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://naei.defra.gov.uk/data/ef-all-results?q=719>
30. Emission factors detailed by source and fuel. *National Atmospheric Emissions Inventory* [online]. 2013 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://naei.defra.gov.uk/data/ef-all-results?q=721>
31. Emission factors for transport. *National Atmospheric Emissions Inventory* [online]. 2013 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://naei.defra.gov.uk/data/ef-transport>
32. Emission factors. *National Atmospheric Emissions Inventory* [online]. 2013 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [naei.defra.gov.uk/emissions/index.php](http://naei.defra.gov.uk/emissions/index.php)
33. Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors. *US EPA* [online]. 2011 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>
34. Environmental Terminology and Discovery Service. *European Environmental Agency* [online]. [cit. 2013-02-05]. Dostupné z:

[http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept\\_html?term=suspended%20particulate%20matter](http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=suspended%20particulate%20matter)

35. Enviros s.r.o. *Integrovaný Krajská program ke zlepšení kvality ovzduší zlínského kraje* [online]. Zlín [cit. 2013-02-05].
36. FINLAYSON- PITTS B. J., J. N. PITTS, *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*, Academic Press, San Diego, 2000.
37. FISCHER G. L., C. E. CHRISP, O. G. RAABE. *Science*, 1979, s. 879.
38. GAJDUŠEK, Petr. Návrh územního plánu velkého územního celku Ostrava - Karviná. Urbanistické středisko Ostrava, s.r.o.
39. GALBREATH K. C., D. L. TOMAN, Ch. J. ZYGARLICHE, J. H. PAVLISH: *Energy a Fuels*, 2000, s. 1265-1279.
40. GIERÉ R.,QUEROL X. *Solid Particulate Matter in the Atmosphere*. 2010. 215-222.
41. HASHIM, Jamal Hisham a Zailina HASHIM. *Lead and Cadmium Content of Total Suspended Particulates in the Atmosphere over the Klang Valley*. 1995. Universiti Pertanian Malaysia Press.
42. HLAVÁČEK, Antonín. Nanočástice a jejich biokonjugáty. In: Nanotechnologie a biosenzory při studiu biointerakcí [online]. 2011 [cit. 2012-10-16]. Dostupné z: [www.nanobio.cz/articles.php?article\\_id=6](http://www.nanobio.cz/articles.php?article_id=6).
43. HOLOUBEK, Ivan. *Chemie životního prostředí II – Znečištění složek prostředí Atmosféra (08)*. Brno. Dostupné z: [recetox.muni.cz](http://recetox.muni.cz). Masarykova Univerzita.
44. HON, Jiří, Jana FICHNOVÁ a Martina TUČKOVÁ. *Program zlepšení kvality ovzduší Královéhradeckého kraje*. Opava, 2006.
45. HON, Jiří, Pavla SÝKOROVÁ, Jana FICHNOVÁ, Martina TUČKOVÁ a Jan AUSFICÍR. *Integrovaný místní program ke zlepšení kvality ovzduší a snižování emisí ve městě Bohumín*. Opava, 2005.
46. HON, Jiří, Zdeněk FRÉLICH, Pavla ŠKARKOVÁ, Jana FICHNOVÁ, Martina TUČKOVÁ a Zuzana VRÁNOVÁ. *Integrovaný místní program ke zlepšení kvality ovzduší a snižování emisí ve městě Bohumín*. Opava, 2000

47. HORÁK, Jiří, František HOPAN, K. KRPEC, M. DEJ, M. KUBAČKA, M. BRANC, T. OCELKA, T. TOMŠEJ, M. ŠYC a V. PEKÁREK. *Extrakt ze „Závěrečné zprávy č. 90/10 o řešení projektu SP/1a2/116/07 za léta 2007 až 2010“: Emise POP a těžkých kovů z malých zdrojů a jejich emisní faktory*. Ostrava, 2012.
48. HORÁK, Jiří, František HOPAN, Kamil KRPEC, Milan DEJ, Michal KUBAČKA, Vladimír PEKÁREK, Michal ŠYC, Tomáš OCELKA, Tomáš TOMŠEJ a Pavel MACHÁLEK. *Stanovení emisních faktorů pro spalování tuhých paliv ve spalovacích zařízeních provozovaných v domácnostech*. 2009.
49. HORÁK, Jiří, Michal BRANC. *Emise jemných částic prachu paliv v malých spalovacích zařízeních*. Brno, 2009.
50. HOUGHTON J. T., Y. DING, D. J. GRIGGS, M. NOGUER, P. J. VAN DER LINDER, X. DAI, K. MASKELL, C. A. JOHSON, *Climate Change 2001: The Scientific Basis (Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
51. CHOW, WATSON, EDGERTONB, VEGAC. *Chemical composition of PM and PM in Mexico 2.5 10 City during winter 1997*. 2002.
52. *Informace o stavu životního prostředí v Moravskoslezském kraji v roce 2003*. Moravskoslezský kraj, 2003. Vedoucí práce Odbor životního prostředí a zemědělství.
53. *Instructions for use portable automated isokinetic sampling Mmeasurement cirtuits for the fractionated sampling of solid particles and aerosols KS-220*. Budapešť, 2011.
54. *Integrovaný program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje*. [online]. [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://www.kr-moravskoslezsky.cz/zip/zp\\_9902\\_02.pdf](http://www.kr-moravskoslezsky.cz/zip/zp_9902_02.pdf)
55. *Introduction to Emission Factors* [online]. 2011 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://www.ehso.com/Air\\_AP\\_42.htm](http://www.ehso.com/Air_AP_42.htm)
56. JINPING ZHAO, FUWANG ZHANG, YA XU, LINGLING XU, XUESONG SHANG, LIQIAN YIN a JINSHENG CHEN. *Aerosol and Air Quality Research: Chemical Characteristics of Particulate Matter during a Heavy Dust Episode in a*

- Coastal City, Xiamen, 2010*. Taiwan: Taiwan Association for Aerosol Research, 2011, 299–308.
57. Jiří, Zdeněk FRÉLICH, Pavla ŠKARKOVÁ, Jana FICHNOVÁ, Martina TUČKOVÁ a Zuzana VRÁNOVÁ. Program ke zlepšení kvality ovzduší města Šumperka. Opava, 2000
58. K. SIEGMANN, L. SCHERRER, H.C. SIEGMANN. *Physical and chemical properties of airborne nanoscale particles and how to measure the impact on human health*. Zurich, 1999.
59. KALIČÁKOVÁ, Zdeňka. *Kontaminace ovzduší Moravskoslezského kraje nanočásticemi*. Ostrava, 2012. Diplomová práce. VŠB-TUO.
60. KARAR, GUPTA, KUMAR, BISWAS. Seasonal variation of PM<sub>10</sub> and TSP in residential and industrial sites in an urban area of Kolkata, India. 2006.
61. Kdo nejvíc škodí českému vzduchu? Firmy na severu Moravy, na Ústecku a ty středočeské. *IHNED.CZ* [online]. 2012, 5.10.2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://zpravy.ihned.cz/c1-57759210-kdo-nejvic-skodi-ceskemu-vzduchu-firmy-na-severu-moravy-na-ustecku-a-ty-stredoceske>
62. Kdo v roce 2010 vypouštěl nejvíce PM10 do ovzduší?. *ČISTÉ NEBE... tady žiji, miluji i dýchám!!!* [online]. 2010 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.cistenebe.cz/index.php/fejety/102-2010-vypoustel-nejvice-pm10-do->
63. KEDER J.: *Rozbor výsledků kontinuálního měření spekter velikostí částic analyzátorů Grimm*. Sborník Ovzduší 2007, Brno, 2007. s. 165-169.
64. KLEIN, ANDREN, CARTER, EMERY, FELDMAN, FULKERSON, LYON, OGLE, TALMI, BOLTON: *Environ, Sci. Technol.*, 1975, s. 973-979.
65. KLIKA Z., L. BARTOŇOVÁ, D. A. SPEARS: *Fuel*, 2001, s. 907-917.
66. KLOUDA, Karel. *Možná rizika nanočástic pocházející z antropogenních zdrojů*. Praha, 2010. Státní úřad pro jadernou bezpečnost.
67. KOLONIČNÝ, Jan, Jiří HORÁK a Silvie PETRÁNKOVÁ ŠEVČÍKOVÁ. *Kotle malých výkonů na pevná paliva*. Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2542-7. VŠB-TUO.

68. *Koncepce rozvoje cyklistické dopravy na území Moravskoslezského kraje*. 2005.
69. *Konzultační den hygieny ovzduší: Problematika aerosolů*. Praha, 2005.
70. *Krajský program snižování emisí Moravskoslezského kraje*. 2010.
71. KRUMPHOLZOVÁ, Tereza a Martin PLEVA. Největší znečišťovatelé: co dělají pro to, aby ulevili našim plicím?. *Moravskoslezský deník.cz* [online]. 2012, 3.2.2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://moravskoslezsky.denik.cz/zpravy\\_region/nejvetsi-znecistovatele-co-delaji-pro-to-aby-ulevili-nasim-plicim-20120302.html](http://moravskoslezsky.denik.cz/zpravy_region/nejvetsi-znecistovatele-co-delaji-pro-to-aby-ulevili-nasim-plicim-20120302.html)
72. LACH, Karel. *Nanočástice v ovzduší Ostravska*. Ostrava, 2012.
73. LEVY J., K.J. HAMMITT a D.J. SPENGLER. Estimating the mortality impact of particulate matter: *What can be learned from Between –Study Variability, Enviromental Health Perspectives*, 2000.
74. Lidem na Ostravsku by se mohlo ulevit od prachu. *Moravskoslezské noviny.cz* [online]. 2012, 23.10.2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://m.moravskoslezskenovinky.cz/zpravy/z-regionu/lidem-na-ostravsku-by-se-mohlo-ulevit-od-prachu>
75. LINAK W. P., O. L. WENDT: *Prog. Energy Combust. Sci.* 1993, s. 145.
76. LOHMANN U., J. FEICHTER. *Atmos. Chem. Phys.* 2005.
77. MACHÁLEK, Pavel a MACHART. *Emisní bilance vytápění bytů malými zdroji od roku 2001*. Milevsko, 2003.
78. MEFA - výpočet emisních faktorů pro motorová vozidla. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2008-2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/vypocet\\_emisnich\\_faktoru](http://www.mzp.cz/cz/vypocet_emisnich_faktoru)
79. MEIJ, JANSSEN, VAN DER KOOIJ: *Kema Scientific and Technical Reports*,, 1986, s. 51-69.
80. Mezi znečišťovateli loni vedly ČEZ či Spolana. *E15.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://zpravy.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/mezi-znecistovateli-loni-vedly-cez-ci-spolana-919949>
81. MIKKONEN, Santtu. *Statistical studies of atmospheric Nanoparticles and their Precursors*. Kuopio, 2011. Disertační práce. University of Eastern Finland.



82. Moravskoslezský kraj. *Celý svět* [online]. 2013 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.celysvet.cz/moravskoslezsky-kraj.php>
83. NAM C.J, KIM TH. a CHUN. Y. *Characteristics of Airbone Particles in SEOUL during Springtime of 2003*, 2003.
84. NEALE, Donald. *Ambient air quality monitoring in Queensland 2003 annual summary and trend report*. 2004. State of Queensland. Environmental Protection Agency.
85. NOHAVICA, Dušan. *Respirační a kardiovaskulární problémy související s nanočásticemi*. Rožnov pod Radhoštěm, 2009.
86. NOHAVICA, Dušan. *Rizika nanomateriálů a nanotechnologií pro lidské zdraví a životní prostředí*. Praha, 2011. Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR.
87. NOSKIEVIČ P., J. KAMINSKÝ: *Využití energetických zdrojů*. Skriptum, 1. vyd., Ostrava, VŠB-TU, 1996, 91 s.
88. Nová studie ZÚ Ostrava o vlivu proudění vzduchu na smogové situace. *Dýcháme pro Ostrava* [online]. 2011 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.dychamproostravu.cz/aktuality/32-nova-studie-zu-ostrava-o-vlivu-proudni-vzduchu-na-smogove-situace>
89. O IRZ. *Integrovaný registr znečištění* [online]. 2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/108>
90. Odhad zdravotních rizik ze znečištění ovzduší Česká republika - Rok 2011. [online]. 2011 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty\\_zdravi/rizika\\_CRi\\_2011.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/rizika_CRi_2011.pdf)
91. *Operating instructions portable automatic isokinetic aerosol - dust sampler measurement circuit KS - 404*. Budapešť, 2011.
92. OSTATNICKÁ, Jana. *Dlouhodobý vývoj imisní zátěže v MSK a porovnání s ostatními oblastmi ČR*. Malenovice, 2012. ČHMÚ.
93. P. KUMAR, A. ROBINS, S. VARDOULAKIS, R. BRITTER. *A review of the characteristics of nanoparticles in the urban atmosphere and the prospects for developing regulatory controls*. 2010.

94. Particle pollution. *Department of natural resources* [online]. 2013 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://dnr.wi.gov/topic/airquality/particles.html>
95. PASSANT N., THISTLETHWAITE G., WAGNER A. a LI, Y., BUSH, T., NORRIS, J., WALKER, C., STEWART, R., TSAGATAKIS, I., WHITING, R., CONOLLY, C., OKA. *UK Emissions of Air Pollutants 1970 to 2008*. 2010.
96. PASSANT, Neil R, Martin PEIRCE, Howard J RUDD, Ian MARLOWE, John D WATTERSON a David W SCOTT. *UK Particulate and Heavy Metal Emissions from Industrial Processes*. 2002.
97. PAVLÍKOVÁ, Irena, Petr JANČÍK, Jan BITTA, Daniel HLADKÝ. *Air Silesia: Identifikace problémů kvality ovzduší v oblasti a zpracování prostorových digitálních dat*. Ostrava, 2010. VŠB-TUO.
98. PAZOURKOVÁ, Lenka. Shluky mikro- a marko- metrických částic kovů ve vzorcích krčních mandlí. Ostrava, 2010. Bakalářská práce. VŠB-TUO.
99. *Plán odpadového hospodářství Moravskoslezského kraje 2003-2012*. 2003.
100. Počasí a podnebí. *Moravskoslezský kraj* [online]. 2010 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://o-kraji.kr-moravskoslezsky.cz/pocasi\\_a\\_podnebi.html](http://o-kraji.kr-moravskoslezsky.cz/pocasi_a_podnebi.html)
101. POPE III. C.A., D.W. DOCKEY: *Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect*. Air Waste Manage. Assoc., 2006. s. 709-742
102. Porovnání klimatické regionalizace ČR podle Moravce – Votýpky (1998) a Quitta (1971). [online]. [cit. 2013-02-07]. Dostupné z: <http://janpivec.wz.cz/pivec/002.htm>
103. PÖSCHL, Ulrich. *Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects*. Weinheim, 2005, 7520 – 7540.
104. Program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. 2006.
105. *Program rozvoje Moravskoslezského kraje*. 2005.
106. *Program rozvoje Moravskoslezského kraje*. 2006. Agentura pro regionální rozvoj.
107. Program snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje. 2003.
108. QUEROL, FERMÁNDEZ-TURIEL, LÓPEZ-SOLER: *Fuel*, 1995, s. 331-343.

109. RACLAVSKÝ K. a OBAL L. *Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2012: Příloha k průběžné zprávě za rok 2012 Číslo projektu: 2012TA02020004*. 2012. Technologická agentura České republiky.
110. RITZ, Michal, Lucie BARTOŇOVÁ a Zdeněk KLIKA. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava: Emise těžkých kovů a polyklických uhlovodíků při spalování uhlí v průmyslových a malých topeništích*. 2003, s. 69-82.
111. ROUBÍČEK V., J. BUCHTELE: *Uhlí-zdroje, procesy, užití*. Ostrava, Montanex, 2002, 173 s.
112. SALIBA, JAM, TAYAR, OBEID, ROUMIE. Origin and variability of particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) mass concentrations over an Eastern Mediterranean city. 2010.
113. SEINFELD J. H., S. N. PANDIS. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1998.
114. SHARMA, PERVEZ Y., PERVEZ S. Seasonal evaluation and spatial variability of suspended particulate matter in the vicinity of a large coal-fired power station in India. 2005.
115. *Situační zpráva k Programu snižování emisí a imisí znečišťujících látek do ovzduší Moravskoslezského kraje 2010*. 2010.
116. SKŘIL, Robert, Jana ŠIMKOVÁ a Grażyna KNOZOVÁ. *Znečištění ovzduší – Metody měření a hodnocení vlivu: Vliv meteorologických podmínek na znečištění ovzduší suspendovanými částicemi*. Mikulov, 2008. ISBN 978-80-86690-49-0.
117. SKŘIL, Robert, Zdeněk ELFENBEIN, Jaroslav ROŽNOVSKÝ, Bohumil POKORNÝ, Ivan KOLÁČNÝ, David MAREK a Pavel BUCHTA. *Vyhodnocení kvality ovzduší průmyslové zóny města Jihlavy a z něho vyplývajících zdravotních rizik*. Brno, 2008.
118. SMEJKALOVÁ, Simona. *Modelování vlivu kvality životního prostředí na zdraví obyvatelstva*. Pardubice, 2011. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.

119. Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě. Regionální publikace WHO [online]. 1987, Evropská řada č. 23, [cit. 2011-05-01]. Dostupný z WWW: [http://www.ecmost.cz/ver\\_cz/ovzdusi/smernice/](http://www.ecmost.cz/ver_cz/ovzdusi/smernice/).
120. SP FAUX, C-L TRAN, BG MILLER, AD JONES. *In vitro determinants of particulate toxicity: The dose-metric for poorly soluble dusts*. 2003. ISBN 0 7176 2747 0.
121. *Stav životního prostředí v jednotlivých krajích ČR v roce 2009: Moravskoslezský kraj*. Praha: CENIA, 2011.
122. *Stav životního prostředí v Moravskoslezském kraji*. Ostrava, 2008.
123. STULL Roland B., *Boundary Layer Meteorology*, ISBN 90-277-2768-6, Kluwert Academic Publishers, 1990.
124. Suspendované částice (aerosol). *Suspendované částice (aerosol)* [online]. [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty\\_zdravi/susp\\_castice.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/susp_castice.pdf)
125. SVOBODA K., J. ČERMÁK, M. HARTMAN: *Ochrana ovzduší*, 1998, s. 6-10.
126. ŠEBÁKOVÁ, Helena. *Ročenka 2004*. Ostrava, 2004. KHS MSK Ostrava.
127. ŠOKALA, Dušan, Ústní sdělení. (5-4-2013)
128. *Tabulky s žebříčky největších znečišťovatelů podle IRZ pro Českou republiku*. 2011. Arnika.
129. *Tabulky s žebříčky největších znečišťovatelů podle IRZ pro Moravskoslezský kraj*. 2011. Arnika.
130. *Tabulky s žebříčky největších znečišťovatelů podle IRZ pro Moravskoslezský kraj*. 2010. Arnika.
131. *Tabulky s žebříčky největších znečišťovatelů podle IRZ pro Moravskoslezský kraj*. 2008. Arnika.,
132. *Tabulky s žebříčky největších znečišťovatelů podle IRZ pro Moravskoslezský kraj*. 2009.

133. TICHÝ, M.: *Toxikologie pro chemiky-toxikologie obecná, speciální, analytická a legislativa*, Praha, Karolinum, 1998, 90 s.
134. Tisková zpráva. *ArcelorMittal Ostrava a.s.* [online]. 2013 [cit. 2013-02-17]. Dostupné z: [http://www.arcelormittal.com/ostrava/AM\\_tz\\_237\\_sl\\_cz.html](http://www.arcelormittal.com/ostrava/AM_tz_237_sl_cz.html)
135. Tisková zpráva: Co říkají nová data z IRZ: Ubylo formaldehydu, přibýlo škodlivin ze Spolany Neratovice a ze spaloven odpadů. *Příroda.cz* [online]. 2004-2013 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.priroda.cz/tiskovky.php?detail=1577>
136. TOLASZ, Radim. et al. *Atlas podnebí Česka..* 1. vyd. Praha : Český hydrometeorologický ústav ; Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. s 255
137. *Třinecké Železárny - Moravia Steel* [online]. 2013 [cit. 2013-02-17]. Dostupné z: <http://www.trz.cz/oskd/39554A9A2D3F62D0C125707C001D320D>
138. TSAGATAKIS, Ioannis, Tony BUSH, Neil PASSANT a Nicola BROPHY. *UK Emission Mapping Methodology 2008: A report of the National Atmospheric Emissions Inventory*. 2010.
139. Události v regionech (Ostrava). *Česká televize* [online]. 2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ivysilani/10122978233-udalosti-v-regionech-ostava/412231100031004-udalosti-v-regionech/obsah/222307-moravskoslezsky-kraj-vede-zebricky-znecistovatel/>
140. US EPA 1998, Emission Factors for Fugitive Dust from Western Surface Coal Mining Sources section 11.9. U.S Environmental Protection Agency.
141. Územní srážky. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2008 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4\\_Historicka\\_data/P4\\_1\\_Pocasi/P4\\_1\\_5\\_Uzemni\\_srazky&nc=1&portal\\_lang=cs#PP\\_Uzemni\\_srazky](http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_5_Uzemni_srazky&nc=1&portal_lang=cs#PP_Uzemni_srazky)
142. Územní teploty. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2008 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=J>

SPTabContainer/P4\_Historicka\_data/P4\_1\_Pocasi/P4\_1\_4\_Uzemni\_teploty&nc=1&portal\_lang=cs#PP\_Uzemni\_teploty

143. VECCHI, R., G. MARCAZZAN a G. VALLI. *Atmospheric Environment: A study on nighttime–daytime PM10 concentration and elemental composition in relation to atmospheric dispersion in the urban area of Milan (Italy)*. Milan, 2007, s. 2136-2144.
144. *Vítejte v Moravskoslezském kraji*. Ostrava, 2006.
145. *Výrobní program závod 101* [online]. [cit. 2013-02-17]. Dostupné z: [http://www.arcelormittal.com/ostrava/pdf/Vyrobní\\_program\\_zavod\\_101.pdf](http://www.arcelormittal.com/ostrava/pdf/Vyrobní_program_zavod_101.pdf)
146. WESTERLUND K.G., JOHANSSON, C. *Emissions of metal and particulate matter due to wear of brake linings in Stockholm*. In: Brebbia, C.A., Martin-Duque, J.F. (Eds.), *Air Pollution X*. WIT Press, Southampton, Boston, 2002, s. 793–802.
147. WHO (2000) *Air Quality Guidelines for Europe 2th edition*, WHO Regional Office for Europe, WHO Regional Publications, European Series, No. 91
148. X. Querol, A. Alastuey, J. Pey, M. Viana, T. Moreno, M.C. Minguillón, F. A. M. Pandolfi, N. Pérez, M.Cusack C. Revue, M.I Dall'Osto, A. Ripoll, A. Karanasiou. *Nanoparticles in the atmosphere*. Barcelona, 2008. Institute of Environmental Assessment and Water Research.
149. YAN R., D. GAUTHIER, G. FLAMANT: *Fuel*, 2001, s. 2217-2226.
150. YAN, GAUTHIER, FLAMANT: *Fuel*, 2001, s. 2217-2226.
151. YAU, Danny. *Quality air in Hong Kong*. Hong Kong, 2009.
152. Zdroje znečištění ovzduší. *Atlas životního prostředí v Ostravě* [online]. 2008 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://gis.osu.cz/atlas/ovzdusi\\_4\\_7.html](http://gis.osu.cz/atlas/ovzdusi_4_7.html)
153. Znečištění ovzduší z dopravy. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2008-2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/znečisteni\\_ovzdusi\\_dopravy](http://www.mzp.cz/cz/znečisteni_ovzdusi_dopravy)

## 10. Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| <b>Obrázek 1</b> Vizualní srovnání velikost $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$ s lidských vlasem a zrnkem písku.....   | 5  |
| <b>Obrázek 2</b> Klimatické oblasti podle Quittovy klasifikace .....   | 13 |
| <b>Obrázek 3</b> Průměrná roční rychlost větru .....   | 14 |
| <b>Obrázek 4</b> Větrné růžice znázorňující převládající větry .....   | 15 |
| <b>Obrázek 5</b> Vývoj emisí tuhých znečišťujících látek na území MSK.....   | 18 |
| <b>Obrázek 6</b> Množství vyprodukovaného polévatého prachu $PM_{10}$ na území MSK největšími znečišťovateli uvedenými v integrovaném registru znečištění, 2008-2011 ..... | 26 |
| <b>Obrázek 7</b> Odhad struktury používaných typů malých spalovacích zařízení pro spalování tuhých paliv v ČR .....  | 38 |
| <b>Obrázek 8</b> Množství emisí škodlivin pro daný výrobní proces – Třinecké železářny .....   | 48 |
| <b>Obrázek 9</b> Emise těžkých kovů produkované podnikem Třinecké železářny během výroby jednotlivých produktů .....   | 48 |
| <b>Obrázek 10</b> Množství emisí škodlivin pro daný výrobní proces – ArcelorMittal Ostrava.  | 50 |
| <b>Obrázek 11</b> Emise těžkých kovů produkované podnikem ArcelorMittal Ostrava během výroby jednotlivých produktů.....  | 51 |
| <b>Obrázek 12</b> Srovnání množství vyprodukovaných emisí .....  | 53 |
| <b>Obrázek 13</b> Srovnání celkových emisí $PM_{10}$ .....   | 53 |
| <b>Obrázek 14</b> Srovnání množství emisí těžkých kovů .....   | 53 |
| <b>Obrázek 15</b> Vzorkovač nanometrických aerosolů Model 3089 .....   | 56 |
| <b>Obrázek 16</b> Schéma Vzorkovače nanometrických aerosolů Model 3089 .....   | 57 |
| <b>Obrázek 17</b> Elektrostatický odlučovač Model 5.561 .....  | 57 |
| <b>Obrázek 18</b> Schéma Elektrostatického odlučovače Model 5.561 .....  | 58 |
| <b>Obrázek 19</b> Kálmán Systém Ltd. - Přenosný automatický izokinetický emisní vzorkovač prachu – .....   | 59 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Obrázek 20</b> Charakter částic zachycených na křemíkovém filtru – PM <sub>10</sub> (Filtr KS404-29) | 60 |
| <b>Obrázek 21</b> Průměrná koncentrace jednotlivých prvků v emisích – PM <sub>10</sub>                  | 61 |
| <b>Obrázek 22</b> Průměrná koncentrace jednotlivých prvků v emisích – PM <sub>2,5</sub>                 | 62 |
| <b>Obrázek 23</b> Průměrná koncentrace jednotlivých prvků v emisích – PM <sub>1</sub>                   | 63 |
| <b>Obrázek 24</b> Porovnání koncentrací prvků v emisích   | 64 |
| <b>Obrázek 25</b> Charakter částic v imisích, zdroj: Raclavský a Obal, 2012                             | 66 |
| <b>Obrázek 26</b> Průměrná koncentrace prvků v imisích – PM <sub>10</sub> [hm. %]                       | 67 |
| <b>Obrázek 27</b> Některé druhy nanočástic odebraných z ovzduší 1)                                      | 68 |
| <b>Obrázek 28</b> Některé druhy nanočástic odebraných z ovzduší 2)                                      | 69 |
| <b>Obrázek 29</b> Distribuce částic v zrnitostních třídách ve vybraných časových intervalech            | 71 |



## 11. Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabulka 1</b> Platné imisní limity pro $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$ .....  | 9  |
| <b>Tabulka 2</b> Platné imisní limity pro znečišťující látky v $PM_{10}$ .....  | 9  |
| <b>Tabulka 3</b> Vybrané charakteristiky klimatických oblastí MSK dle Quitta .....  | 13 |
| <b>Tabulka 4</b> Teplota na území Moravskoslezského kraje za rok 2012.....  | 16 |
| <b>Tabulka 5</b> Srážky na území Moravskoslezského kraje za rok 2012 .....  | 16 |
| <b>Tabulka 6</b> Vývoj emisí tuhých znečišťujících látek na území MSK .....   | 17 |
| <b>Tabulka 7</b> Emise těžkých kovů stacionárními zdroji na území MSK za rok 2010 .....   | 19 |
| <b>Tabulka 8</b> Výčet provozoven podílejících se na emisích TZL ze stacionárních zdrojů > 0,5<br>%, Moravskoslezský kraj 2008 .....  | 20 |
| <b>Tabulka 9</b> Emise TZL z malých zdrojů – obce s největší produkcí TZL za rok 2008 .....   | 22 |
| <b>Tabulka 10</b> Emise základních znečišťujících látek podle druhu silničních vozidel (%) .....  | 23 |
| <b>Tabulka 11</b> Rozdělení emisí TZL z dopravy podle tříd komunikací (%).....  | 23 |
| <b>Tabulka 12</b> Největší producenti částic $PM_{10}$ na území MSK zařazených do IRZ za rok<br>2011.....   | 25 |
| <b>Tabulka 13</b> Množství vyprodukovaného polévatelného prachu $PM_{10}$ na území MSK<br>největšími znečišťovateli uvedenými v integrovaném registru znečištění, 2008-2011 ..... | 25 |
| <b>Tabulka 14</b> Emisní faktory pro energetiku .....   | 30 |
| <b>Tabulka 15</b> Emisní faktory pro některá průmyslová odvětví – výroba železa a ocel.....   | 32 |
| <b>Tabulka 16</b> Emisní faktory pro některá průmyslová odvětví – výroba cementu.....   | 34 |
| <b>Tabulka 17</b> Emisní faktory pro některá průmyslová odvětví – výroba hliníku.....   | 35 |
| <b>Tabulka 18</b> Emisní faktory pro další energetická odvětví (např. výroba koksu) .....   | 35 |
| <b>Tabulka 19</b> Emisní faktory pro chemický průmysl .....   | 36 |
| <b>Tabulka 20</b> Porovnání emisních faktorů vztažených na hmotnost paliva .....  | 39 |
| <b>Tabulka 21</b> Porovnání emisních faktorů vztažených na výhřevnost paliva .....  | 40 |
| <b>Tabulka 22</b> Emisní faktory $PM_{10}$ – silniční doprava .....   | 43 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabulka 23</b> Emisní faktory těžké kovy – silniční doprava .....   | 44 |
| <b>Tabulka 24</b> Emisní faktory jednotlivých škodlivin použité pro výpočet emisí<br>produkovaných podnikem Třinecké železářny a.s ..... | 46 |
| <b>Tabulka 25</b> Vypočtené hodnoty emisí jednotlivých škodlivin podle základního vzorce ...   | 47 |
| <b>Tabulka 26</b> Vypočtené hodnoty emisí jednotlivých škodlivin podle základního vzorce ...   | 50 |
| <b>Tabulka 27</b> Srovnání celkových emisí Třineckých železáren a ArcelorMittalu Ostrava ...   | 52 |
| <b>Tabulka 28</b> Koncentrace jednotlivých prvků v částicích – PM <sub>10</sub> .....  | 61 |
| <b>Tabulka 29</b> Koncentrace jednotlivých prvků v částicích – PM <sub>2,5</sub> .....   | 62 |
| <b>Tabulka 30</b> Koncentrace jednotlivých prvků v částicích – PM <sub>1</sub> .....   | 63 |
| <b>Tabulka 31</b> Porovnání koncentrací prvků v emisích .....  | 64 |
| <b>Tabulka 32</b> Koncentrace prvků v imisích PM <sub>10</sub> [hm. %].....  | 67 |
| <b>Tabulka 33</b> Distribuce částic v zrnitostních třídách ve vybraných časových intervalech ..  | 70 |